

Aalto-yliopisto  
Insinööritieteiden korkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Markus Storsjö

# Metsäkoneohjaamon konseptisuunnittelu

Diplomityö  
Koivulahti 14. helmikuuta 2013

Valvoja: Professori Matti Juhala  
Ohjaaja: Professori Matti Juhala

Aalto-yliopisto  
Insinööritieteiden korkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma

DIPLOMITYÖN  
TIIVISTELMÄ

<b>Tekijä:</b>	Markus Storsjö		
<b>Työn nimi:</b>	Metsäkoneohjaamon konseptisuunnittelu		
<b>Päiväys:</b>	14. helmikuuta 2013	<b>Sivumäärä:</b>	121+6+7
<b>Professuuri:</b>	Auto- ja työkonetekniikka	<b>Koodi:</b>	Kon-16
<b>Valvoja:</b>	Professori Matti Juhala		
<b>Ohjaaja:</b>	Professori Matti Juhala		
<p>Logsetin Titan-harvesteriohjaamo on ollut tuotannossa 12 vuotta ja sitä pitäisi kohta uudistaa. Tässä työssä on selvitetty mitä kannattaisi muuttaa, mitä vaatimuksia uuden ohjaamon pitää täyttää ja esitetty ehdotuksia, miten nykyisiä ongelmia voisi ratkaista.</p> <p>Työn lähtökohtana on nykyistä ohjaamoa tutkittu, asiakkaiden ja yrityksen oman väen mielipiteet nykyisestä ohjaamosta selvitetty ja kilpailijoiden ohjaamoihin tutustuttu. Tärkeä osa taustatutkimusta on myös ohjaamoon liittyvien lainsäädännön vaatimusten selvittäminen, jotta tiedetään mitkä ovat suunnittelun rajat.</p> <p>Tärkeimmät parannuskohteet harvesteriohjaamossa ovat sivunäkyvyys ja tilankäyttö sekä verhoilun uudistaminen. Toinen asia, johon on pyritty löytämään ratkaisu, on aurinkoverhojen toimivuus. Ohjaamorakenteen suunnittelussa on puolestaan vaatimuksena, että uusi ohjaamo kestää 30-tonnisen koneen ROPS-testin.</p> <p>Ohjaamon ulkomittoja ei voida juurikaan kasvattaa, sillä joka suuntaan kallistava ohjaamoripustus vaatii paljon tilaa ja koneiden runkoja ei enää haluta muuttaa. Titan-harvesterin uniikista muotoilusta on tullut tärkeä osa Logsetin brändiä, joten nykyistä muotoilua on myös syytä säilyttää. Uusi ohjaamo tulee siksi olemaan pääpiirteittäin samannäköinen kuin nykyinen, mutta geometriaa ja kaikkia yksityiskohtia voidaan suunnitella paremmin toimiviksi. Sisustuksen puolella kannattaisi käyttää samoja laadukkaita verhoilumateriaaleja kuin mitä on käytetty Logsetin kuormatraktoreissa.</p> <p>Mikäli resursseja riittää, kannattaisi ohjaamon lisäksi myös uudistaa hallintalaitteita. Jos niitä suunnitellaan tyhjältä pöydältä, voidaan saada uniikki ratkaisu, jossa olisi paljon uusia ominaisuuksia. Täysin uusien hallintalaitteiden kehittäminen on kuitenkin kallista ja vaatii paljon suunnittelua sekä testausta.</p>			
<b>Asiasanat:</b>	Metsäkone, harvesteri, ohjaamo, ergonomia, konseptisuunnittelu, konedirektiivi, muotoilu, hallintalaite		
<b>Kieli:</b>	Suomi		



Aalto-universitetet  
Högskolan för ingenjörsvetenskaper  
Examensprogram för maskinteknik

**SAMMANDRAG AV  
DIPLOMARBETE**

<b>Utfört av:</b>	Markus Storsjö		
<b>Arbetets namn:</b>	Konceptdesign av en skogsmaskinshytt		
<b>Datum:</b>	14 februari 2013	<b>Sidantal:</b>	121+6+7
<b>Professur:</b>	Fordonsteknik	<b>Kod:</b>	Kon-16
<b>Övervakare:</b>	Professor Matti Juhala		
<b>Handledare:</b>	Professor Matti Juhala		
<p>Logsets Titan-skördarhytt har varit i produktion i 12 år och borde snart förnyas. I det här arbetet har undersökts vad som borde ändras och vilka krav som ställs på den nya hytten. Dessutom presenteras förslag hur de nuvarande problemen kunde lösas.</p> <p>Som utgångspunkt för arbetet har den nuvarande hytten undersökts, kundernas åsikter samt företagets egen personals åsikter har hörts och konkurrenternas hytter har undersökts. En viktig del av bakgrundsforskningen är också att ta reda på de säkerhetskrav som lagstiftningen ställer, så att man vet inom vilka ramar planeringen måste hålla sig.</p> <p>De viktigaste sakerna att förbättra i skördarhytten är sidosikten och innerutrymmet samt att förnya inredningsmaterialen. En annan sak som borde lösas är hur man ska få solgardinerna funktionella. Vad gäller planeringen av själva hyttkonstruktionen är kravet att den ska klara 30 tons ROPS-test.</p> <p>Hyttens yttermått kan inte egentligen ökas, för levelleringen i sid- och längdriktningen kräver mycket utrymme, och man vill inte göra några ytterligare ändringar i maskinernas ramar. Titan-skördarens unika design har också blivit en viktig del av Logsets varumärke och borde bevaras. Den förnyade hytten kommer därför att till det yttre vara lik den nuvarande, men geometrin och alla detaljer kan man förbättra för att uppnå bättre funktionalitet. Vad gäller inredningen borde man i den nya hytten använda samma gedigna material som i Logsets skotarhytt.</p> <p>Om det finns tillräckligt med resurser, skulle det också löna sig att förnya maskinens styrreglage. Om de planeras från tomt bord, kunde man få en unik lösning med många goda egenskaper. Att utveckla helt nya reglage är dock dyrt och kräver mycket planerande och testande.</p>			
<b>Nyckelord:</b>	Skogsmaskin, skördare, förarhytt, ergonomi, konceptplanering, maskindirektivet, design, reglage		
<b>Språk:</b>	Finska		

Aalto University  
School of Engineering  
Degree Programme of Mechanical Engineering

ABSTRACT OF  
MASTER'S THESIS

<b>Author:</b>	Markus Storsjö		
<b>Title:</b>	Concept Design of a Forest Machine Cabin		
<b>Date:</b>	February 14, 2013	<b>Pages:</b>	121+6+7
<b>Professorship:</b>	Ground Vehicle Engineering	<b>Code:</b>	Kon-16
<b>Supervisor:</b>	Professor Matti Juhala		
<b>Instructor:</b>	Professor Matti Juhala		
<p>The Logset Titan harvester cabin has been in production for 12 years and it should soon be revised. The purpose of this thesis is to examine necessary changes, which requirements the new cabin should fulfill, and to present possible solutions to the current problems.</p> <p>As a basis for the thesis the current cabin has been examined, customers and the company's own personnel have been interviewed, and the cabins of the competitors have been examined. Another important phase in the background research is to find out all the legislative requirements of the new cabin to find out how the design is limited.</p> <p>The most important issues to improve in the harvester cabin is the side visibility and interior space and revising the interior materials. Another thing that needs improvement is the functionality of the sun blinds. When designing the structure of the cabin, it is desired that it would pass the ROPS test for a 30 t machine.</p> <p>The outer dimensions of the cabin cannot be increased, since the levelling in all directions needs much space, and no more changes to the frames of the machines should be made. The design of the Titan harvester has become an important part of the Logset brand and should also be preserved. Therefore the new cabin will resemble the current cabin considerably, but the geometry and all details can still be improved to ensure better functionality. In the interior the same high quality materials should be used as in the cabins of the Logset forwarders.</p> <p>If there are enough resources, the controls of the cabin should also be revised. If they are designed from scratch, a unique solution can be developed, with plenty of new features. Designing completely new controls is still expensive and requires a lot of planning and testing.</p>			
<b>Keywords:</b>	Forest machine, harvester, cabin, ergonomics, concept design, Machinery Directive, design, control device		
<b>Language:</b>	Finnish		

# Esipuhe

Tämä työ on tehty Logset Oy:n tulevan tuotekehitysprojektin esitutkimuksena.

Haluan kiittää Logset Oy:tä ja erityisesti Jukka Kivipeltoa diplomityön tarjoamisesta ja ohjaamisesta. Logsetin Kari, Kimmo, Jouni, Timo, Jonas, Tom, Rune, Sami ja kaikki muut, jotka ovat antaneet hyviä kommentteja ja kehitysideoita työlleni, ansaitsevat myös maininnan. Kiitokset Heikki Koivurovalle muotoiluun liittyvistä ideoista ja kommenteista. Koulun puolella haluan kiittää professoria Matti Juhalaa diplomityön valvomisesta ja hyvistä neuvoista, sekä ADDLAB:iä 3D-tulostamispalveluista. Työni oikolukeneille ja parannusehdotuksia antaneille vielä suurkiitos.

Opiskeluvuodet Otaniemessä ovat olleet unohtumattomat. Jäljelle jäävät hyvät muistot sekä koulusta että elämästä sen ulkopuolella. Peltorobottijoukkue 2011 ohjaajineen ansaitsee erityismaininnan antoisasta projektista, jossa opin enemmän kuin koskaan ennen. Kiitos vielä kaikille mukaville ihmisille, joihin pääsin tutustumaan työskennellessäni eri kurssien assistenttina. Aika koulun ulkopuolella ei myöskään käynyt pitkäksi, tästä suurkiitos Teknologföreningenille ja Koneinsinöörikillalle.

Lopuksi vielä kiitokset kaikille läheisilleni kaikesta tuesta kaikkien vuosien aikana.

Koivulahti 14. helmikuuta 2013

Markus Storsjö  
Markus Storsjö



# Symbolit ja lyhenteet

$A$	Pinta-ala
$f$	Taajuus
$F$	Voima
$M$	Koneen kokonaismassa
$\zeta$	Vaimennussuhde
$\sigma$	Normaalijännitys
$\omega$	Kulmataajuus
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CE	Communauté Européenne
dB(A)	A-painotettu desibel, yleinen tapa ilmoittaa äänentaso
DLV	Deflection-limiting volume, kuljettajan tarvitsema turvaväli
EMC	Electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
FEM	Finite element method, lujuusanalyysissä käytetty numeerinen menetelmä
FOPS	Falling-object protective structure, putoavilta esineiltä suojaava turvarakenne
IQAN	Parkerin kehittämä ohjausjärjestelmä, aiemmin käytetty Logset-metsäkoneissa
ISO	International Organization for Standardization
OPS	Operator protective structure, ohjaamoon tunkeutuvilta esineiltä suojaava turvarakenne
ROPS	Roll-over protective structure, ympärikaatumistilanteessa suojaava turvarakenne
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SIP	Seat index point, kuljettajan istumapaikkaa edustava koordinaatti
TOC	Total Operation Control, Logset-metsäkoneiden ohjausjärjestelmä
WCB	Workers' Compensation Board of British Columbia, kanadalainen työturvallisuusjärjestö



# Sisältö

<b>Symbolit ja lyhenteet</b>	<b>vi</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1 Yritysesittely . . . . .	1
1.2 Tämän päivän metsäteknikka . . . . .	3
1.3 Työn tausta . . . . .	6
<b>2 Nykyinen ohjaamo</b>	<b>8</b>
2.1 Esittely . . . . .	9
2.2 Valmistustekniikka . . . . .	10
2.3 Mittaukset . . . . .	12
2.3.1 Paino . . . . .	12
2.3.2 Melu . . . . .	13
2.4 Johtopäätökset . . . . .	16
<b>3 Asiakaskysely</b>	<b>17</b>
3.1 Kyselyn tulokset . . . . .	18
3.2 Johtopäätökset . . . . .	20
<b>4 Kilpailijoiden ohjaamot</b>	<b>21</b>
4.1 John Deere . . . . .	21
4.1.1 Ohjaamon rakenne . . . . .	22
4.1.2 Sisätila . . . . .	23
4.1.3 Hallintalaitteet . . . . .	25
4.2 Komatsu Forest . . . . .	26
4.2.1 Ohjaamon rakenne . . . . .	27
4.2.2 Ohjaamon sisätila . . . . .	27

4.2.3	Hallintalaitteet . . . . .	28
4.2.4	Komatsun kuormatraktoriohjaamo . . . . .	29
4.3	Ponsse . . . . .	31
4.3.1	Ohjaamon rakenne . . . . .	32
4.3.2	Ohjaamon sisätila . . . . .	32
4.3.3	Hallintalaitteet . . . . .	33
4.4	Muut valmistajat . . . . .	35
4.4.1	Eco Log . . . . .	35
4.4.2	Sampo-Rosenlew . . . . .	36
4.4.3	ProSilva . . . . .	37
4.4.4	Logman . . . . .	38
4.4.5	ProfiPro . . . . .	39
4.5	Johtopäätökset . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Lainsäädännön vaatimukset</b>	<b>41</b>
5.1	EU:n konedirektiivi . . . . .	41
5.2	Metsäkoneita koskevat standardit . . . . .	43
5.2.1	Metsäkonestandardi ISO 11850 . . . . .	44
5.2.2	ROPS, ISO 8082-1 . . . . .	46
5.2.3	FOPS, ISO 8083 . . . . .	48
5.2.4	OPS, ISO 8084 . . . . .	49
5.3	Muut vaatimukset . . . . .	49
5.3.1	Melu . . . . .	49
5.3.2	Tärinä . . . . .	49
5.3.3	EMC-suojaus . . . . .	50
5.3.4	Tieliikenne . . . . .	51
5.4	Vaatimukset Euroopan ulkopuolella . . . . .	51
5.5	Johtopäätökset . . . . .	52
<b>6</b>	<b>Tekniset ominaisuudet</b>	<b>54</b>
6.1	Lasit . . . . .	54
6.1.1	Lasien materiaali . . . . .	54
6.1.2	Valmistustekniikka . . . . .	55
6.1.3	Optiikka . . . . .	56
6.1.4	Lasien kiinnitys . . . . .	56

6.1.5	Melun hallinta . . . . .	56
6.1.6	Etupilarit ja ovet . . . . .	57
6.1.7	Tuulilasinpyyhkijä . . . . .	60
6.2	Auringonsuojaus . . . . .	62
6.2.1	Ongelmia . . . . .	62
6.2.2	Sähköisesti tummennettavat lasit . . . . .	64
6.2.3	Parannetut aurinkoverhot . . . . .	66
6.3	Lujuus . . . . .	67
6.3.1	Teoriaa . . . . .	68
6.3.2	Suuntaa antava mitoitus . . . . .	69
6.3.3	Materiaalivalinta . . . . .	71
6.4	Äänieristys . . . . .	72
6.4.1	Taustaa . . . . .	72
6.4.2	Teoriaa . . . . .	73
6.4.3	Soveltaminen . . . . .	74
6.4.4	Aktiivinen meluntorjunta . . . . .	75
6.5	Lämmitys- ja ilmastointijärjestelmä . . . . .	76
6.5.1	Toimintaperiaate . . . . .	76
6.5.2	Vaihtoehdot . . . . .	77
6.6	Ripustus . . . . .	78
6.6.1	Kumipuslat . . . . .	78
6.6.2	Vakautus . . . . .	81
6.6.3	Jousitus . . . . .	83
6.6.4	Simulointeja . . . . .	86
6.7	Hallintalaitteet . . . . .	90
6.7.1	Eri filosofiat . . . . .	90
6.7.2	Parannuskohtia . . . . .	91
6.7.3	Eri näppäintekniikoita . . . . .	92
6.7.4	Muutosmahdollisuuksia . . . . .	94
6.8	Johtopäätökset . . . . .	96
<b>7</b>	<b>Konsepti</b>	<b>97</b>
7.1	Vaatimuslista . . . . .	97
7.2	Ohjaamokonseptin muodostaminen . . . . .	99

7.2.1	Ohjaamon koko . . . . .	99
7.2.2	Ohjaamon muotoilu . . . . .	100
7.2.3	Pilarit . . . . .	101
7.2.4	Lasit ja aurinkoverhot . . . . .	101
7.2.5	Ripustus . . . . .	102
7.2.6	Valokruunu . . . . .	102
7.2.7	Ilmastointijärjestelmä . . . . .	103
7.2.8	Matkustajan istuin . . . . .	104
7.2.9	Sisätila . . . . .	105
7.3	Hallintalaitteet . . . . .	107
7.3.1	Vivut . . . . .	107
7.3.2	Paletit . . . . .	109
7.4	Johtopäätökset . . . . .	110
<b>8</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>112</b>
	<b>Kirjallisuutta</b>	<b>114</b>
<b>A</b>	<b>Asiakaskysely</b>	<b>122</b>
<b>B</b>	<b>ROPS-laskelmat</b>	<b>129</b>



# Luku 1

## Johdanto

Tämän työn tavoite on uuden ohjaamokonseptin kehittäminen metsäkonevalmistaja Logset Oy:lle. Lähtökohtana on nykyinen Logset Titan -harvesterin ohjaamo, josta kehitetään uusi versio. Työssä tutkitaan olemassa olevan ohjaamon hyviä ja huonoja puolia ja verrataan kilpailevien valmistajien vastaaviin tuotteisiin. Perustan työlle muodostavat myös Logsetin asiakkailla suoritettu kysely sekä lainsäädännön asettamat vaatimukset.

### 1.1 Yritysesittely

Logsetin historia juontaa juurensa Oy Norcar Ab:hen, joka tuli tunnetuksi turkistarhojen ruokintakoneiden valmistajana. Kaj Carlson kehitti ensimmäisen rehturikin Minkomatic vuonna 1967 ja perusti samana vuonna Norcarin yhdessä Erik Norrasin kanssa [1]. Norcarin tuotevalikoima laajeni 1970-luvulla, kun ensimmäinen metsäkone, 8-pyöräinen kuormatraktori Norcar 440, esiteltiin. Metsäkoneala osoitti siihen aikaan suurta kasvupotentiaalia, sekä pienempää suhdanneherkkyyttä kuin Norcarin muilla tuotteilla. Ensimmäinen harvesteri seurasi 1980-luvulla ja metsäkoneista tuli pian tärkeä osa Norcarin toimintaa. Norcarin metsäkoneilla oli alusta asti omaperäinen rakenne, jonka keskeinen osa oli täyshydrostaattinen veto pyörämootoreineen (kuva 1.1).

Interpolator Oy osti vuonna 1988 Norcarin ja muitakin metsäkoneyrityksiä kuten Finntrac Oy:n, ja nykyään hyvin tunnetun Ponssen. Yhteistyö Ponssen kanssa oli turbulenttista, mutta se hyödynsi myös Norcaria, esimerkiksi harvesteritekniikan kehityksen osalta. Norcar meni kuitenkin konkurssiin vuonna 1992.

Oy Logset Ab syntyi, kun Gustav Frantzén, Kristian Stén ja Seppo Koskinen, edellisiä Norcar-työntekijöitä, perustivat oman yrityksen, joka myi kunnostettuja Norcar-koneita sekä Norcar-metsäkoneiden varaosia. Pian seurasi uusien koneiden valmistus ja sen jälkeen vielä uusien mallien kehitys. Tärkeä virstanpylväs oli oman harvesteripään kehitys. Toinen iso askel oli Chipset-hakekoneen kehitys. Chipset edusti täysin uutta konekonseptia, kone joka kerää hakkuutähteitä ja murskaa ne hakeiksi suoraan paikan päällä. Vaikka Chipset oli innovatiivinen, siitä ei koskaan



Kuva 1.1: Klassinen Norcar 490 kuormatraktori [2, s. 4]

tullut kannattava kone.

Logsetin metsäkoneet olivat alusta asti jatkaneet Norcarin perinnettä käyttäen täys-hydrostaattista vetoa ja pyörämoottoreita. Vaikka tällä oli useita etuja, kuten runko-ohjauksen suurempi kääntökulma, sillä oli myös haittoja. Huonon hyötysuhteen lisäksi suuri määrä hydraulimoottoreita tarkoitti huonoa luotettavuutta. Yleisesti suhtauduttiin metsäkonemaailmassa epäilevästi pyörämoottoreihin. Samaan aikaan kun Logset mietti, mistä saisi metsäkoneen hydraulis-mekaanisella vedolla, Jukka Kivipellon ja Kari Mikkilän yritys, kurikkalainen Fomac International, oli kehittänyt oman kuormatraktorin, Fomac F112. Koska Fomacilla oli hyvä tuote, mutta ei myyntikanavia eikä tuotantokapasiteettia ja Logsetilta puuttui tuo tuote, yhteistyö syntyi nopeasti. Sen jälkeen Logsetin uusia koneita alettiin suunnitella Fomacilla Kurikassa ja tuotanto tapahtui Logsetin tehtaalla Koivulahdessa. Logset ja Fomac yhdistyivät vuonna 2002.

Suuri vallankumous tapahtui, kun Titan-harvesteri esiteltiin Metko-messuilla vuonna 2000 (kuva 1.2). Uusi harvesteri oli piirretty puhtaalta pöydältä. Se edusti ennennäkemätöntä futuristista muotoilua, ja oli saanut uuden pirteän väriteeman, harmaa-musta-liila, josta Logsetin brändi tänä päivänäkin on tunnettu. Titan harvesteri oli myös täynnä uutta tekniikkaa, kuten CAN-väylä ja sähköinen moottorin ohjaus. Kuormatraktorisarja päivitettiin Titan-aikakauteen vuonna 2007.

Yrityksen kasvun myötä alkuperäiset perustajat päättivät myydä Logsetin vuonna 2005. Omistajavaihdoksen myötä seurasi turbulenttinen aika yritysorganisaatiolle, minkä jälkeen koitui vielä maailmanlaajuinen finanssikriisi, joka sai metsäkonekaupan pysähtymään täysin. Logset hakeutui velkasaneeraukseen vuonna 2009. Taantuman hellittyä vuosina 2010-2011 konekauppa kävi jälleen hyvin ja vuonna 2012 Logset pystyi irrottautumaan yrityssaneerauksesta ennätysajassa. Tällä hetkellä Logsetin ja Fomacin alkuperäiset perustajat ovat jälleen yrityksen pääomistajina. [2]





Kuva 1.2: Ensimmäinen Titan-harvesteri [2, s. 28]

## 1.2 Tämän päivän metsäteknikka

Puut voidaan korjata metsästä monella eri tavalla. Käytettävät konetyypit riippuvat käytetystä menetelmästä. Jos tehdään jako sen mukaan, miten puu kuljetetaan pois metsästä, voidaan puhua kokopuumenetelmästä, runkomenetelmästä ja tavaralajimenetelmästä. Kokopuumenetelmässä puu kuljetetaan ulos metsästä kokonaisena ja karsitaan tienvarressa tai vasta jalostuspaikalla. Runkomenetelmässä puu karsitaan metsässä kaadon jälkeen ja kuljetetaan sieltä kokonaisena runkona. Käytettävä menetelmä riippuu metsän tyypistä, puiden koosta, mutta ennen kaikkea maan infrastruktuurista ja totutusta kulttuurista.

Pohjoismaissa tavaralajimenetelmä on ehdottomasti vallitseva menetelmä, ja sitä on täällä koneellistamisen myötä kehitetty teknisesti tehokkaaksi menetelmäksi. Tavaralajimenetelmässä puu kaadetaan, karsitaan ja katkotaan valmiiksi heti metsäpalsstalla ja sieltä puut kuljetetaan puutavaralajeittain tienvarsivarastoon. Kaato, karsinta ja katkonta voi tapahtua joko metsäkoneella tai miestyönä moottorisahalla. Kuljetus tapahtuu Suomessa lähes poikkeuksetta koneellisesti, joko työtä varten erikseen kehitetyllä metsäkoneella tai metsävarustetulla maataloustraktorilla.[3, s. 53-58]

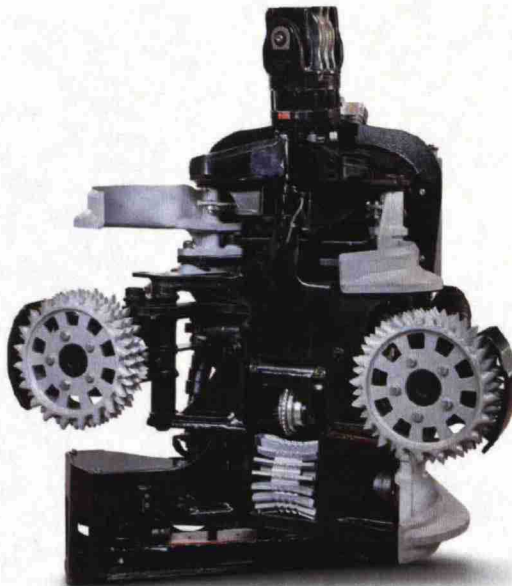
Pohjoismaisen tavaralajimenetelmän koneellinen toteutus koostuu kahdesta konetyypistä. Harvesteri (sv. skördare, en. harvester) suorittaa kaadon, karsinnan ja katkonnan (kuva 1.3). Muita nimityksiä harvesterille on hakkuukone ja monitoimikone, mutta tässä työssä harvesteri on käytetty nimitys. Joskus kuulee myös käytettävän nimitystä prosessori, mikä on vanhahtava, sillä prosessorilla on historiallisesti tarkoitettu konetta, joka ainoastaan karsii ja katkoo puuta, siihen aikaan kun kaatoa ja karsintaa hoiti kaksi eri konetta [4, s. 2]. Harvesterissa on tukeva, yleensä runko-ohjattu alusta ja nosturi, jonka päässä on harvesteripää, myös hakkuupääksi kutsuttu laite. Harvesteripäässä on kaikki kaatoon, karsintaan ja katkontaan tarvittava toiminnallisuus kompaktissa paketissa (kuva 1.4).

Kaadossa harvesteripää on pystyasennossa ja tarttuu kiinni puun rungosta karsinta-



Kuva 1.3: Logset 8H GT -harvesteri (kuva Logset)

terillä ja syöttörullilla. Harvesteripään tehokas ketjusaha kaataa puun, jolloin harvesteripää siirtyy vaaka-asentoon. Seuraavaksi syöttörullat vetävät puun harvesteripään läpi, jolloin oksat karsiutuvat. Samaan aikaan elektroniikka mittaa rungon läpimittaa ja pituutta, ja tietokoneohjelma optimoi mistä kohdista puu pitää katkoa, jotta koko puu käytettäisiin mahdollisimman tarkoin hyödyksi. [3, s. 67-72]



Kuva 1.4: Logset TH55 -harvesteripää (kuva Logset)

Harvestereiden rakenteissa löytyy suurta variaatiota eri valmistajien välillä. Yhteistä niille on, että moottori on toisessa päässä ja nosturi toisessa. Ohjaamon sijoitus sekä kiinnitys vaihtelevat. Ohjaamo voi olla eturungossa nosturin takana, takarungossa moottorin edessä tai nosturin vieressä. Ohjaamon kiinnitys voi olla nivelöity, jolloin se automatiikalla voidaan pitää vaakasuorassa ja kääntyvä, jolloin se aina kääntyy



harvesteripään suuntaan.

Toinen konetyyppi koneellisessa tavaralajimenetelmässä on kuormatraktori (sv. skotare, en. forwarder), myös ajokoneeksi kutsuttu. Kuormatraktori kuljettaa harvesterin käsittelemät puut metsäpalstalta tienvarsivarastoon (kuva 1.5). Kuormatraktori on suunniteltu suorittamaan omaa tehtäväänsä mahdollisimman tehokkaasti. Tärkeitä tekijöitä ovat kuormankantokyky, etenemiskyky maastossa ja nosturin kapasiteetti. [3, s. 80-83]



Kuva 1.5: Logset 6F GT -kuormatraktori (kuva Logset)

On vielä olemassa kolmas konetyyppi, korjuri (sv. drivare, en. harwarder), joka on harvesterin ja kuormatraktorin yhdistelmä. Korjurin idea on, että samalla koneella pystyttäisiin tekemään sekä hakkuutyötä että kuljetusta. Korjurin nosturissa on harvesteripää kuten harvesterissa ja takarungossa on kuormatila kuten kuormatraktorissa (kuva 1.6). Harvesteriin verrattuna korjurin harvesteripää on yleensä kevyempi ja muokattu siten, että se myös soveltuisi kuormaukseen. Kuormatraktorista poiketen korjurissa voi myös olla kääntyvä kuormatila, joka mahdollistaa puutavaran valmistamisen suoraan kuormatilaan.

Korjurilla pyritään taloudellisempaan puunkorjaukseen, kun yhdellä koneella pystytään tekemään kahden koneen työt. Korjurin rakenne on kuitenkin kahden konetyypin kompromissi, minkä takia tuottavuudessa sen on vaikea kilpailla perinteistä harvesterin ja kuormatraktorin muodostamaa koneketjua vastaan. Monimutkainen tekniikka nostaa myös korjurin hinnan korkeaksi. [3, s. 84-86]

Korjuri sopii parhaiten harvennushakkuihin, koska kilpailukyky kasvaa leimikon runkokokojen pienentyessä. Korjurin taloudellisuuden ongelmana voi kuitenkin olla harvennusleimikoiden heikkotuottoisuus ja pitkät välimatkat sopivien leimikoiden välillä. Hyvä puoli on se, että kuljetuskustannukset ovat pienemmät kun ainoastaan yksi kone on siirrettävä. Toinen hyvä puoli on se, että maastovauriot pienenevät, kun ajokerrat metsässä vähenevät. Kaiken kaikkiaan korjurit eivät ole laajasti yleistyneet ja harva valmistaja tekee niitä. [5]



Kuva 1.6: Logset 6E -yhdistelmäkone (kuva Logset)

### 1.3 Työn tausta

Logset Titan -harvestereiden mallisarja lanseerattiin vuonna 2000. Uudet mallit herättivät runsaasti huomiota, ennen kaikkea rohkean muotoilunsa ja raikkaan väriteemansa ansiosta. Vuosien aikana malleihin on tullut useita päivityksiä, esimerkiksi moottori ja mittalaite on uudistettu monta kertaa.

Vuonna 2012 tuli lisää uudistuksia, joiden yhteydessä mallimerkintöihin lisättiin GT, "Generation Two". Näihin uudistuksiin kuuluivat muun muassa piristetty ulkomuoto konepeiton osalta ja valinnaisvarusteena toimitettava joka suuntaan kallistettava, ja 90° kääntyvä ohjaamoripustus, vakiona vain sivusuunnassa kallistettavan ripustuksen rinnalle.

Uudistuksista huolimatta ohjaamo on pysynyt pohjimmiltaan samanlaisena koko ajan. Tämän takia olisi nyt korkea aika uudistaa ohjaamoakin perusteellisemmin. Uudistettu ohjaamo jatkaisi samalla linjalla, mutta sen pitäisi olla jokaiselta kohdalta modernimpi. Tärkeä uudistettava kohta on ohjaamon sisusta, jonka pitäisi olla raikkaampi ja nykyaikaisempi. Samalla kun harvesteriohjaamo uudistetaan, voidaan harkita, soveltuisiko tämä uusi ohjaamo myös kuormatraktoreihin.

Ohjaamo on tärkeä osa metsäkonetta. Siinä kuljettaja oleskelee suurimman osan ajasta, ja ohjaamon tarjoamalla työympäristöllä voi olla suuri merkitys, kun asiakas tekee ostopäätöksen. Metsäkoneille on asetettu kovat tuottavuusvaatimukset, ja tärkeä tekijä koneen tehokkuudessa on ohjaamon ergonomia, koska hyvässä ohjaamossa kuljettaja voi keskittyä työntekoon ja jaksaa pysyä keskittyneenä koko työpäivän. Metsä on myös vaarallinen työympäristö (koneen kaatuminen, kaatuvat puut), minkä vuoksi ohjaamon pitää täyttää monta turvamääräystä.

Ohjaamon suunnittelussa pitää ottaa useita eri aihealueita huomioon. Turvallisuus on yksi niistä. Siihen liittyy rakenteen lujuus, mutta myös esimerkiksi hätäpoistumistiet. Hyvä näkyvyys, joka auttaa välttymään tapaturmista, on myös oleellinen osa turvallisuutta.



Ergonomia on toinen laaja alue. Työn rasittavuus ja kuljettajan viihtyvyys riippuvat istuma-asennosta, hallintalaitteiden sijoittelusta ja toiminnasta, ohjaamon ja istuimen värähtelyvaimennuksesta, ilmastoinnista ja niin edelleen.

Muotoilu on vielä otettava huomioon koko prosessissa. Hyvännäköinen kone on viihtyisämpi työympäristö kuin tylsännäköinen kone ja koska metsäkone on kallis laite, siltä vaaditaan myös laatuvaikutelmaa, johon juuri muotoilu vaikuttaa suuresti. Muotoilulla voidaan vaikuttaa koko koneen käytettävyyteen, joten muodolla on merkitystä ja tulee olla, ettei muotoilla asioita vain muotoilun vuoksi. Logsetin slogan onkin ollut ”muodolla on merkitys”.

Tämän työn lähtökohtana on kolmen peruspilarin tutkinta: Mitä meillä on, mitä kilpailijoilla on ja mitä asiakkaat haluavat. Lainsäädännön vaatimukset pitää vielä selvittää, koska ne asettavat rajat suunnittelulle.

Ensiksi tutkitaan nykyistä ohjaamoa, miten se on rakennettu ja mitkä ovat sen hyvät ja huonot puolet. Nykyiseen ohjaamoon on tutustuttu sekä tehtaan kokoonpanolinjalla että käytännön töissä metsässä.

Koneiden käyttäjien mielipiteet on otettu huomioon asiakaskyselyllä. Logsetin omia kokeneita testikuljettajia on myös haastateltu.

Seuraava vaihe on tutustua kilpailijoihin ja miten kilpailijakoneissa vastaavat asiat on ratkaistu. Konevalmistajien nettisivuilta löytyy paljon tietoa, mutta tärkein tiedonlähde tässä on käynti FinnMETKO-messuilla 30.8.-1.9.2012.

Näiden perusteella aletaan muodostaa uutta ohjaamokonseptia. Tavoitteena on konseptisuunnittelun osalta päättää uuden ohjaamon keskeisimpiä ominaisuuksia, kuten koko, muoto, lasitus ja sisätila sekä selvittää millä tekniikoilla halutut ominaisuudet voidaan saavuttaa. Työ ei mene detaljisuunnittelun tasolle, vaan tarkoitus on, että suunnittelija voisi aloittaa detaljisuunnittelun tämän työn perusteella. Konseptisuunnittelu sisältää kuitenkin monta suurta ja haastavaa kysymystä, joihin ei tämän työn puitteissa pystytä suoraan antamaan mitään selvää vastausta, vaan nämä kysymykset vaativat lisää tutkimusta ja testaamista suunnittelun edetessä.

## Luku 2

# Nykyinen ohjaamo

Tässä luvussa esitellään Logsetin nykyistä harvesteriohjaamo. Nykyinen ohjaamo näkyy kuvassa 2.1 kuvattuna vasen ovi auki.



Kuva 2.1: Logset Titan-harvesteriohjaamo (kuva Logset)



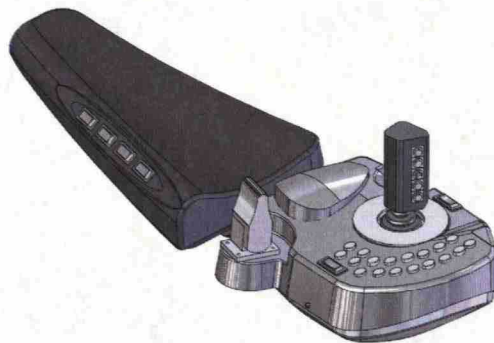
## 2.1 Esittely

Harvesteriohjaamossa on kaksi ovea, joista oikea ovi lähinnä toimii hätäpoistumistienä. Portaita ohjaamoon löytyy koneen vasemmalta puolelta, ja ne nousevat hydraulisesti ylös, kun ovi suljetaan ja kone lähtee liikkeelle. Molemmissa ovissa on paineilma-avusteinen avaus ja suljenta sekä ovea auki pitävä kaasujousi.

Istuin on ruotsalaisen Be-Ge Förarmiljön valmistama. Istuin on ilmajousitettu ja varta vasten metsäkäyttöä varten kehitetty. Lattialla on edessä ajonopeuspoljin, jarrupoljin sekä sähköiset monitoimipolkimet, joilla voidaan ohjata nosturin tilityä tai runko-ohjausta. Kaikki muut hallintalaitteet, jotka tarvitaan työn aikana, on sijoitettu ergonomisesti istuimen kyynärnojiiin.

Hallintalaitteiden toiminnot ovat pääpiirteittäin samanlaisia kaikenmerkkisissä metsäkoneissa [6]. Nosturia ohjataan joystickeillä, jotka ovat miniviputyypisiä. Tämä tarkoittaa sitä, että vivut ovat kooltaan pienet ja niitä voidaan ohjata kevyellä sormiotteella. Minivipuihin kuuluu myös proportionaalinen keinukytkin, jota ohjataan peukalolla. Vivut ovat Caldaron valmistamia ja erona tavallisiin minivipuihin nähden on vipujen etupuolella viisi painonappia, joilla käytetään harvesteripään toimintoja.

Kyynärnojan jatkeita, joihin joystickit on asennettu, kutsutaan paleteiksi. Paleteissa on joystickien lisäksi potentiometrit nopeussäätöä varten ja vipujen edessä pieni näppäimistö harvesterin muiden toimintojen ohjaamiseen. Oikean paletin oikeassa reunassa on vielä ohjausvipu runko-ohjausta varten (kuva 2.2).



Kuva 2.2: CAD-malli istuimen oikeasta käsinojasta (kuva Logset)

Kuljettajan edessä, alhaalla, on 12-tuumainen näyttö, joka sekä toimii koneen ohjausjärjestelmän näyttönä että hakkuutyön aikana harvesteripään mittalaitteen näyttönä. Näytöllä on korvattu kaikki perinteiset analogiset mittarit. Näytön oikealla puolella on tila tulostimelle, jota voidaan käyttää hakkuudatan tulostamiseksi. PC:n käyttöä varten on myös oikea tietokonenäppäimistö ja trackball-hiiri kuljettajan oikealla puolella olevalla tasolla. Taso on taitettavissa ylös ohjaamon B-pilaria vasten, kun näppäimistöä ei käytetä.

Etulasin alla on matala konsoli, jossa on etulasin ilmasuuttimet. Etukonsolissa

oli aikoinaan paikka Orbitrol-venttiilille, jota käytettiin silloin, kun ohjaamo oli varustettu ohjauspyörällä, mutta tämä varustevaihtoehto ei kuitenkaan ole enää käytössä.

Oikeasta B-pilarista löytyy hallintapaneeli, jossa on harvemmin käytettävät kytkimet, kuten esimerkiksi lämpötilasäätimet. Paneelin takaa löytyy sähkökeskus, jossa on elektroniikkamoduuleja ja sulakkeita. Vasemmassa B-pilarissa on puolestaan teline ja telakointiasema harvesteripään kalibrointiin käytettäville mittasaksille. Vasemmasta B-pilarista löytyy myös pieni matkustajanistuvin, joka jousella taittuu ylös, kun sitä ei käytetä. Kun ohjaamossa on matkustaja mukana, voidaan kuljettajan istuinta siirtää oikealle sen verran, että matkustaja mahtuu istumaan kuljettajan viereen.

Ohjaamon katossa on radio, sisävalot ja kaiuttimet. Katon keskellä on luukku, josta löytyy lisää elektroniikkaa, kuten langattoman tiedonsiirtoon käytetyt antennit sekä PC. Luukkuun kiinnitettyihin komponentteihin pääsee helposti käsiksi, kun luukku on auki.

Istuimen alla on ilmastointilaite, josta raitisilma kulkee lattiassa olevia putkia pitkin ikkunoiden alareunoihin sijoitettuihin suuttimiin. Ohjaamon ilmasuodatin on ohjaamon alla ja tuulettimen ja suodattimen välissä on sähköohjattu läppä, jolla ohjaamoilman takaisinkierätyksen määrää voidaan säätää.

Tuulilasi on 12 mm paksua polykarbonaattia. Sivulasit ja takalasi ovat laminoitua turvalasia. Sivulasien paksuus on 18 mm ja takalasin paksuus 8,76 mm. Kaikki ruudut voidaan peittää läpinäkyvillä KLARA-SOL-aurinkoverhoilla, jotka suojaavat ohjaamoa liialliselta auringonsäteilyltä ja auttavat pitämään ohjaamon viileänä. Aurinkoverhot toimivat rullaverhoina; joten niitä on helppo vetää esiin tai avata. Tuulilasissa ja takalasisissa on poikittaisia tankoja, jotka ohjaavat aurinkoverhoja kaarevia ruutuja pitkin. Ikkunareunoissa, jotka jäävät aurinkoverhojen ulkopuolelle, on kiinteästi teipattua aurinkoverhopintaa.

## 2.2 Valmistustekniikka

Ohjaamon runko valmistetaan Stera Technologiesin Forssan tehtaalla. Rakenne koostuu lähinnä taitetuista teräsprofileista ja särmätyistä peltiosista. Teräsprofiilit tulevat belgialaiselta toimittajalta SadeF. Ohjaamo hitsataan jigissä, jotta oikea mittatarkkuus varmistuu. Mittatarkkuus voidaan lopuksi todeta mittaamalla poikkimittoja lasiaukoissa.

Valmis ohjaamorunko viedään Fortacon (entisen Ruukin) tehtaalle Kurikkaan, jossa se maalataan. Maalaus on teknisesti tärkeä vaihe, koska maalaus suojaa ruosteelta, mutta myös emotionaalisesti, koska maalauksella on suuri vaikutus laatuvaikutelmaan. Fortacolla ohjaamo pohjamaalataan aluksi e-coatilla laskemalla ohjaamo 16 peräkkäiseen altaaseen. Tämä edellyttää ohjaamorungolta, että siinä ei ole suljettuja tiloja joihin ilmaa jää, mikä johtaisi siihen, että ohjaamo jäisi kellumaan. Välttämällä suljettuja tiloja varmistutaan myös siitä, että ruostesuojaus pääsee peittämään kaikki pinnat. Tämän jälkeen ohjaamorunko pintamaalataan



jauhemaalilla, joka saadaan pysymään, kun runko viedään uuniin.

Lopuksi on vielä lakkaus, jolla halutaan nostaa ulkonäköä ja parantaa kulutuskestoa. Runko lakataan käsin ja viedään takaisin uuniin. Tämä on haastava vaihe, koska lakkaus vaatii erittäin tarkan lämpötilan onnistuakseen. Tarkan lämpötilan saavuttaminen vaikeutuu, jos rungon rakenteissa on suurta vaihtelua aineenvahvuuksissa.



Kuva 2.3: Ohjaamon teräsrunko, sellaisena kuin se tulee alihankkijalta

Ohjaamorungot toimitetaan Logsetille kuljetustelineen päällä, joka on helppo kuljettaa trukilla. Trukilla ohjaamo kuljetetaan kokoonpanopaikalle, jossa ohjaamon sisustaminen alkaa. Kuljetuksen aikana ovet ovat kiinni rungossa, mutta sisustamisen ajaksi ovet otetaan irti ja niitä verhoillaan erikseen.

Sisustaminen alkaa sillä, että rungon laajimpiin sisäpintoihin kiinnitetään bitumilaattoja, jotka vähentävät pintojen värähtelyherkkyyttä ja toimivat äänieristeinä. Katon äänieristys ja johtosarjat asennetaan seuraavaksi, sen jälkeen kattoluukku ja siihen asennettu elektroniikka, ennen kuin katon verhoilu laitetaan paikalle.

Seuraavaksi tulee lattian johtosarja ja ilmastointijärjestelmä, joka asennetaan lattiaan. Johtojen mukana kulkee myös paineilmaletku, joka antaa paineilmaa istuimelle ja ovien apusylintereille. Ilmastointiyksikköön menevät lämminvesiletkut ja ilmastointiletkut vedetään lattian läpi läpivientikumien kautta. Ilmastointiyksiköstä vedetään  $\varnothing$  63 mm Flexadux-putkia lattian alle, takaseinään ja sivuille, eli niihin paikkoihin, joihin myöhemmin tulee ilmasuuttimet. Kaiken kaikkiaan ohjaamossa on melkein 10 m raitisilmaputkia.

Sivupaneelin komponentit ja johtosarjat asennetaan ennen kuin loput verhoiluosat kiinnitetään. Istuinkokonaisuus tehdään omana alikokoonpanona ennen kuin se nostetaan ohjaamoon. Polkimet ruuvataan lattiaan lattiakumimaton päälle.

Tuulilasi kiinnitetään sekä liimalla että pulteilla. Ennen asennusta käsitellään tuulilasin reunoja primerilla, jotta liima tarttuisi paremmin, mutta se antaa myös siistin mustan kehyksen, joka peittää alleen tulevan tiivistemassan. Tuulilasi kiinnitetään runkoon pulteilla ylä- ja alareunasta. Kiinnityspultit estävät sitkeän polykarbonaattilasin lommahtamasta sisään, jos lasiin osuu jotakin. Pulttien ja



lasin välissä on vielä musta peltilista, joka levittää pulttien kiristysvoiman koko ylä- ja alareunalle. Lopuksi etulasi viimeistellään täyttämällä etulasin ja etupilarin reunan väliin jäänyt rako liimalla. Ovilasit ja takalasi, jotka ovat nimenomaan lasia, kiinnitetään ainoastaan liimalla, muuten prosessi on samanlainen. Takalasi kiristetään paikalleen liiman kovettumisen aikana sidontaliinoilla.

Elektroniikan toimivuus testataan tietokoneella, joka kytketään ohjaamossa olevaan elektroniikkamoduuliin. Tietokoneessa on testiohjelma, jonka tarkistuslista käydään läpi ja sen avulla tarkistetaan, toimivatko kaikki ohjaamon sähkötoiminnot niin kuin pitää.

Suurimmat ongelmat kokoonpanovaiheessa johtuvat verhoilun sopivuudesta. Verhoilussa ja rungossa ei ole valmiita kiinnitysreikiä, vaan asentaja joutuu erikseen asettelemaan verhoiluosat paikoilleen ja merkkamaan reikien paikat ja sen jälkeen poraamaan ja kierteittämään reiät rungossa. Valmiit reiät rungossa ja verhoiluosissa säästäisi paljon aikaa. Toinen työvaihe, joka sisältää turhaa työtä, on ilmanvaihtoyksikön asennus. Tuulettimen elektroniikka on siltä ajalta, kun harvestereissa oli IQAN-ohjausjärjestelmä. Nyt kun ohjausjärjestelmänä on Logsetin oma TOC, tarvitaan tuulettimeen toisenlaista ohjausta, minkä takia ilmanvaihtoyksikössä oleva elektroniikkayksikkö ja johtosarja joudutaan irrottamaan ja vaihtamaan toiseen. [7]

Toinen huono puoli nykyisessä harvesteriohjaamossa on lattian puhtaanapysyvyys. Logset Titan -kuormatraktoreiden ohjaamoissa on kumimatto, joka peittää koko ohjaamolattian ja tulee alihankkijalta valmiiksi varustettuna suojaavalla muovikalvolla, jotta lattia pysyisi puhtaana kunnes kone saapuu asiakkaalle. Harvesteriohjaamossa taas on huopaverhoilu, joka peittää koko lattian ja istuimen eteen on lattiaiverhoilun päälle laitettu kumimatto. Maton päällä ei ole vastaavaa suojakalvoa, vaan sen päälle laitetaan suojaksi muotoon leikattu pahvi. Pahvi ei kestä kovin hyvin kaikkea kulkua ohjaamoon koneen kokoonpanon ja testauksen aikana. Kumimatto ei myöskään ole muulla tavalla kiinni, kuin poljinten kiristysruuveilla. Sen takia voi epäillä, että käytön aikana alkaa kerääntyä likaa maton alle.

## 2.3 Mittaukset

### 2.3.1 Paino

Ohjaamon paino mitattiin Tamtron kappaletavaravaa'alla. Ohjaamo oli kuljetustelineensä päällä ja jotta teline saataisiin sopimaan vaa'an päälle, laitettiin vielä lava väliin. Ohjaamon oman painon lisäksi, kiinnostava tieto oli ohjaamon painopisteen sijainti tai tarkemmin ohjaamon kiinnityspisteiden kuormitukset. Tämän takia mitattiin myös ohjaamon ja ohjaamotelineen paino telineen takareunalla, asettamalla kuljetustelineen takareuna vaa'an lavan päälle ja tukemalla etureunaa toisella lavalla. Lopuksi mitattiin kuljetustelineen ja käytetyn lavan omat painot. Telineen tapauksessa mitattiin erikseen etureunan ja takareunan paino, jotta painopistettä laskettaessa pystyttiin ottamaan myös sen painopiste huomioon. Mittaustulokset näkyvät taulukossa 2.1.

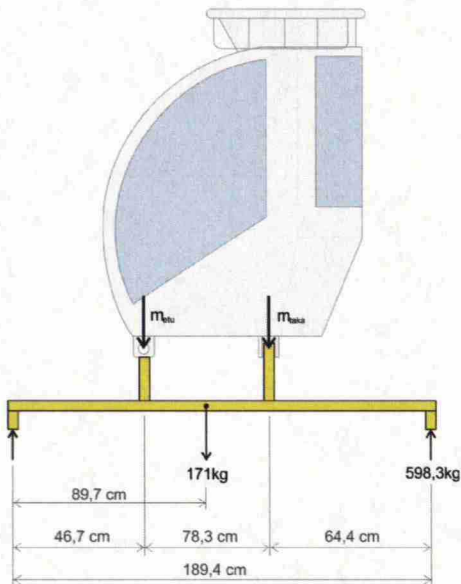


Kuva 2.4: Ohjaamon painon mittaaminen

Taulukko 2.1: Tulokset ohjaamon painomittauksesta

Ohjaamo + kuljetusteline	1081,8 kg
Ohjaamo + kuljetusteline, takareunalla	598,3 kg
Kuljetustelineen etureuna	90 kg
Kuljetustelineen takareuna	81 kg

Kuljetustelineen kokonaispaino on etureunan ja takareunan painojen summa, eli 171 kg. Painopisteen paikka on siitä laskettavissa, 89,7 cm etureunasta. Ohjaamon oma paino saadaan vähentämällä mittauksista kuljetustelineen paino, joten ohjaamon painoksi saadaan 910,8 kg. Ohjaamon painojakauma voidaan laskea statiikan laskusääntöjen avulla (kuva 2.5), joista saadaan ohjaamon painojakaumaksi 202,7 kg etupainoa ja 708,1 kg takapainoa.



Kuva 2.5: Ohjaamon painojakauman määrittäminen

Nämä laskut ovat lähinnä suuntaa antavia, koska ohjaamon oikea paino riippuu



käytännössä monista tekijöistä, kuten varusteista, mutta ennen kaikkea se riippuu ajon aikana kuljettajan painosta. Mielenkiintoinen tulos tässä on kuitenkin se, miten epätasainen kiinnityspisteiden kuormitus on. Suurin osa painosta (78 %) on takakiinnityksillä. Tällä voi olla huono vaikutus kiinnityspuslien toimintaan, sillä toinen puslapari on todennäköisesti kaukana omasta optimitoimipisteestään.

2.3.2 Melu

Ääniä mitataan desibeleissä (dB). Yksikkö desibel on määritetty logaritmina mitattavan äänen ja kuulokynnyksen äänenpaineiden suhteesta. Logaritminen asteikko vastaa paremmin sitä, kuinka ihminen kokee äänen, kuin lineaarinen asteikko. Tämän lisäksi logaritminen asteikko tekee laajasta kuuloalueesta helpomman käsiteltäväksi. Ihminen ei kuitenkaan havaitse kaikkia taajuuksia samalla tavalla. Parempi kuvaus äänestä saadaan vielä, kun painotetaan eri taajuuksien äänenpainetasoja sen mukaan, miten paljon ihminen havaitsee sitä taajuutta. Yleisimmin käytetty painotusfunktio on ns. A-painotus ja A-painotettu äänitaso ilmoitetaan yksiköllä dB(A). Tämän luvun melut on mitattu A-painotuksella. [8, s. 31-34]

Ohjaamon melu mitattiin Ono Sokki LA-5110 äänimittarilla. Mittaukset tehtiin 8H GT -harvesterilla eri tilanteissa tehtaan pihalla ja metsässä. Tulokset on esitetty taulukossa 2.2. Mittaukset on otettu kuljettajan kohdalla, ellei muuta ilmoiteta.

Taulukko 2.2: Tulokset harvesterin melumittauksesta

Tyhjäkäynti	59 dB(A)
Tyhjäkäynti, raitisilmapuhallin maksiminopeudella	72 dB(A)
Tyhjäkäynti, lattialla mitattuna	66 db(A)
Tyhjäkäynti, ovi auki	72 dB(A)
Moottori maksimikierroksilla (2200 r/min)	66 dB(A)
Moottori maksimikierroksilla (2200 r/min), ikkunoiden kohdilla	66-71 dB(A)
Moottori maksimikierroksilla (2200 r/min), lattialla	70 dB(A)
Kuormaimen liikuttelu, moottori 1000 r/min	64-68 dB(A)
Hakkuutyö, moottori 1600 r/min	64-68 dB
Ajo 5 km/h	66-69 dB(A)
Maksiminopeus (~25 km/h)	76 dB(A)
Maksiminopeus (~25 km/h), raitisilmapuhallin maksiminopeudella	78 dB(A)

Huomataan, että raitisilmapuhaltimella on suuri vaikutus ohjaamomeluun. Melu ei kuitenkaan tule itse puhaltimesta niin suuressa määrin, vaan enemmän ilmanvirtauksesta. Mittaukset tehtiin raitisilmapuhallin miniminopeudella, ellei muuta ilmoiteta. Hakkuutyön melu haluttiin kuitenkin mitata autenttisessa tilanteessa, jossa ilmastoinnin automatiikka oli päällä. Tästä johtui melun suuri vaihtelu (64-68 dB(A)). Hakkuutyöstä tehtiin myös 10 minuutin mittaus, jonka tuloksena oli 71 dB(A)<sub>eq</sub>. Tämä suuri luku johtui todennäköisesti siitä, että mittari oli käytännön



syistä mittausten aikana sijoitettu vasemman B-pilarin säilytyslokeroon, jossa se oli alttiimpi melulle ja värähtelyille.

Mittausten mukaan moottorin kierrosluku ei vaikuta kovin paljon meluun, mikä on selitettävissä siitä, että moottori on kaukana ohjaamosta.

Melu ikkunoiden kohdilla vaihteli suuresti eri ikkunoilla. Kun moottori pyöri maksimikierroksilla, melu oli suurimmillaan takaikkunassa, lähimpänä moottoria (71 dB(A)). Koska sivuikkunat ovat paksua turvalasia, ne myös vaimentavat melua tehokkaasti, niiden kohdilla melu oli vain 66 dB(A). Polykarbonaattinen etulasi päästää puolestaan enemmän melua sisään (69 dB(A)), vaikka se on kauempana melunlähteestä.

Kuormaajan melu johtuu eniten hydrauliikasta. Sen takia melu vaihtelee eri toiminnoilla, hydrauliikan virtauksista riippuen. Ajossa taas voimansiirto on huomattava melunlähde. Asfaltilla ajettaessa melu on suurempi, kun matala aluevaihde on valittu, koska silloin kuusipyöräveto on myös päällä. Korkeaa aluevaihdetta käytettäessä ainoastaan takapyörät vetävät, jolloin melu on pienempi.

Vertailuna tähän suoritettiin vielä vastaavat mittaukset kuormatraktorilla. Mittaukset tehtiin 8F Titan Classic -koneella. Tulokset näkyvät taulukossa 2.3.

Taulukko 2.3: Tulokset kuormatraktorin melumittauksesta

Tyhjäkäynti	56 dB(A)
Tyhjäkäynti, raitisilmapuhallin maksiminopeudella	69 dB(A)
Tyhjäkäynti, lattialla mitattuna	61 dB(A)
Tyhjäkäynti, ovi auki	71 dB(A)
Moottori maksimikierroksilla (2200 r/min)	72 dB(A)
Moottori maksimikierroksilla (2200 r/min), ikkunoiden kohdalla	76 dB(A)
Moottori maksimikierroksilla (2200 r/min), lattialla	77 dB(A)
Kuormaimen liikuttelu, moottori 1000 r/min	62 dB(A)
Ajo 5 km/h	65 dB(A)
Maksiminopeus (~25 km/h)	75 dB(A)
Maksiminopeus (~25 km/h), raitisilmapuhallin maksiminopeudella	76 dB(A)

Voidaan todeta, että kuormatraktori on hieman hiljaisempi kuin harvesteri, lähinnä koska kuormatraktoriohjaamo on modernimpi ja siinä on parempi äänieristys. Kuormatraktorissa moottori on kuitenkin lähempänä ja vaikuttaa meluun enemmän, kun kierrosluvut kasvavat.

Voidaan vielä verrata näitä mitattuja melutasoja eri valmistajien koneisiin. Muista koneista ei löydy tarkkaa tietoa eri tilanteiden melusta, vaan ainoastaan ajan yli mitatut keskiarvot ( $L_{eq}$ ), mikä kuitenkin on kätevä tapa verrata koneita keskenään. Taulukkoon 2.4 on kerätty eri metsäkoneiden melutiedot saksalaisen metsäorganisaation KWF:n testeistä. Huomioon pitää ottaa, että testit ovat muutaman vuoden vanhat, joten on mahdollista, että valmistajat ovat ehtineet parantaa koneitaan kyseisten testien jälkeen.

Taulukko 2.4: Eri metsäkoneiden melutasoja ( $L_{eq}$ ), KWF:n mittauksen mukaan [9]

Logset 5H	60 dB(A)
Logset 8H	69 dB(A)
John Deere 1470E	65,4 dB(A)
Valmet 911.4	69 dB(A)
Ponsse Ergo 8W	65,7 dB(A)
Ponsse Bear	68 dB(A)
Rottne H20	62 dB(A)
Silvatec Sleipner	68 dB(A)

KWF:n testien mukaan kaikkien koneiden melutasot ovat suurin piirtein samaa luokkaa. Logsetin 8H on kuitenkin meluisimmasta päästä.

## 2.4 Johtopäätökset

Logsetin Titan -harvesteriohjaamo oli aikanaan futuristinen edelläkävijä. Ajattoman muotoilunsa ansiosta ohjaamo näyttää vielä tänä päivänä modernilta, vaikka pinnan alta ikä alkaa näkyä. Esimerkki tästä ovat sisustusmateriaalit, jotka eivät ole kovin laadukkaan tuntuisia verrattuna Logsetin uudempaan kuormatraktoriohjaamoon. Valmistuksessa puutteellisen suunnittelun takia osien yhteensopivuus tuottaa lisävaivaa asentajille. Näkyvyys eteen ja etuviistoon on hyvä, mutta sivusuuntaan paksut sivutolpat rajoittavat näkyvyyttä pahasti. Kuljettajalle tila riittää hyvin, mutta jos matkustaja haluaa kyytiin, tulee tilasta varsin ahdas. Ohjaamon melutaso ei ole paha, mutta saisi kuitenkin olla matalampi.

## Luku 3

# Asiakaskysely

Koneet tehdään asiakkaita varten. Sen takia on tärkeää ottaa asiakkaiden mielipiteet huomioon konetta suunniteltaessa. Kuljettaja, joka aamusta iltaan, viikosta toiseen istuu ohjaamossa, tietää kaikkein parhaiten mitä puutteita koneesta löytyy ja mitä pitäisi parantaa. Koska asiakas on se joka maksaa koneesta, on myös hyvä selvittää, mistä ominaisuuksista asiakas on valmis maksamaan. Näin koneeseen ei suunnitella liikaa kalliita ominaisuuksia, joita asiakas ei halua. Kyselyllä voi myös olla imagoa parantava vaikutus, jos asiakas tuntee, että konevalmistaja välittää asiakkaan mielipiteistä.

Tätä työtä varten suoritettiin asiakaskysely Logsetin harvestereista. Haluttiin tietää mitä kohtia ohjaamossa asiakkaiden mielestä pitäisi parantaa ja millaisia ominaisuuksia kaivataan. Riski on kuitenkin se, että jos tehdään kysely tietystä aiheesta, asiakas saa sen kuvan, että siihen aiheeseen on lähiaikoina tulossa uudistus, ja että kannattaa odottaa kunnes uudistus on esitelty, ennen kuin ostaa uuden koneen. Tässä tapauksessa, jos uuden ohjaamon kehitys vie pari vuotta, olisi vaarallista jos kaikki asiakkaat alkaisivat odottaa sitä, eivätkä enää halua ostaa nykyistä tuotetta. Tämän takia tehtiin asiakaskysely yleisen asiakastyytyväisyyskyselyn muodossa. Ohjaamoon liittyvien kysymyksien lisäksi, joista oltiin erityisesti kiinnostuneita, lisättiin vielä yleisiä kysymyksiä harvestereiden muista ominaisuuksista, kuten moottorin, hydraulikan, nosturin ja ohjausjärjestelmän ominaisuuksista, jotta kysely ei liittyisi ainoastaan ohjaamoon.

Kysely tehtiin kuudella suomalaisella, kolmella ruotsalaisella ja parilla ranskalaisella asiakkaalla. Tämän lisäksi haastateltiin vielä kahta Logsetin testikuljettajaa. Kysely suoritettiin enimmäkseen puhelimitse, asiakkaille soittamalla. Kysymyksiin oli tehty valmiita vastausvaihtoehtoja, ja kyselyn suorittaja valitsi jokaisella kysymyksellä sen vaihtoehdon, joka parhaiten vastasi asiakkaan mielipidettä. Valmiit vastausvaihtoehdot helpottivat kyselyn suorittamista ja tulosten keskinäistä vertailua. Muita kommentteja kirjoitettiin muistiin jokaisen kysymyksen kohdalla.

Kyselylomakkeen suomenkielinen versio löytyy liitteestä A.



### 3.1 Kyselyn tulokset

Yleisesti asiakkailta saadut kommentit olivat aika yhteneväisiä. Jotkut asiat jakoivat kuitenkin mielipiteitä.

Ohjaamoripustuksesta yleinen mielipide oli se, että siinä ehdottomasti pitää olla vakautus joka suuntaan. Ohjaamon kääntö sen sijaan oli ehdoton varuste joillekuille, kun taas toiset eivät lainkaan sellaista haluaisi. Yhden urakoitsijan hyvä kommentti oli se, että hän ei itse halua sitä, mutta miellyttääkseen työntekijöitään ja varmistaakseen hyvien kuljettajien saannin, hän kuitenkin haluaisi kääntyvän ohjaamon koneisiinsa. Ohjaamojousitukseen suhtauduttiin aika positiivisesti, vaikka on vaikeaa sanoa mielipiteensä asiasta, jonka hinta ja toimivuus eivät ole tiedossa.

Ohjaamon kokoon oltiin suurin piirtein tyytyväisiä. Yhdelle miehelle ohjaamon koko riittää, mutta matkustaja kyydissä tila käy ahtaaksi. Matkustajaistuin oli kaikkien mielestä liian pieni. Matkustajatilan suunnittelussa on kaksi puolta. Toisaalta tulee aina tilanteita, kun metsänomistaja tai kouluttaja tulee ohjaamoon mukaan, eli riittävästi tilaa on pakko löytyä. Toisaalta työrauha on parempi, kun saa olla ohjaamossa yksin, eli matkustajan istuin ei saa olla liian mukava, jolloin aina joku haluaisi istua mukana kyydissä.

Näkyvyys sai sekä kehuja että kritiikkiä. Jotkut kehuivat, että kyseessä on markkinoiden paras ohjaamo. Etupilarit ovat kuitenkin joissakin tilanteissa tiellä. Sivunäkyvyys sai kaikilta moitteita. Ohjaamon B-pilarit estävät näkyvyyttä suoraan sivuille. Tämä kuitenkin riippuu kuljettajan koosta. Pienikokoinen kuljettaja, joka istuu edempänä, näkee paremmin, koska pääsee takapilareiden etupuolelle. Joku kaipasi parempaa näkyvyyttä ylöspäin ja valituksia tuli myös siitä, että ylhäällä olevat etutyövalot heijastuvat tuulilasiin. Kattokruunusta voi valua vettä ja lunta tuulilasille, ja pyyhkijäkin sai joltakulta kritiikkiä. Yksi toivomus oli myös, että pilareiden sisäpuolen väri olisi tummempi, mikä on testattu vähentävän niiden häiritsevyyttä.

Hallintalaitteisiin oltiin myös suhteellisen tyytyväisiä. Kaikki olivat sitä mieltä, että minivipuohjaus on paras vaihtoehto, mutta palettien napit saivat kaikilta kritiikkiä. Painonapit ovat liian raskaita käyttää, ja joidenkuiden mielestä ne ovat liian kaukana vivuista. Jotkut toivoivat, että saisi enemmän nappeja vipuihin, ettei tarvitsisi käyttää paletteja niin suuressa määrin.

Monien mielestä kyynärnojat eivät ole riittävän tukevia. Jotkut kuljettajat haluaisivat, että istuimesta noustessa kyynärnojat kestäisivät koko kuljettajan painon, että niihin voisi tukeutua. Jotkut taas eivät lainkaan kaivanneet sellaista ominaisuutta.

Oikea B-pilari on useimpien mielestä hyvä sijoitus ylimääräisille hallintalaitteille. Joku haluaisi mieluummin vaakasuuntaisen hallintapaneelin, joka olisi paremmin käden ulottuvilla. Toinen puolestaan kommentoi, että pystysuuntainen paneeli pysyy paremmin suojassa, ettei tule laitettua tavaroita sen päälle. Paneelissa käytetyt kytkimet saivat kuitenkin paljon kritiikkiä huonosta kestävyydestään.

Monet valittivat radion korkeaa sijaintia, että näyttöä ei näe ja siihen ei ulotu

kurkottelematta. Toisille kuljettajille, jotka harvoin vaihtavat radiokanavaa, tämä ei ollut ongelma. Radikaali ehdotus, joka tuli tehtaan omilta työntekijöiltä, ja joka ratkaisisi sekä ongelmat kytkinten kestävyys että radion sijainnin kanssa, oli sivupaneelin korvaaminen kosketusnäytöllä. Kyseisellä kosketusnäytöllä hoidettaisiin sivupaneelikytkinten toimintoja, ja jos radio kytkettäisiin tähän näyttöön, radiokin olisi siitä ohjattavissa, ja itse radioyksikkö olisi sijoitettavissa mihin vain.

Kysymys ohjaamomelusta aiheutti yllättävän suuren hajonnan. Monien mielestä ohjaamo on nykyisellään riittävän hiljainen, kun toiset taas valittivat, että melu on vakava ongelma heidän koneissaan. Urakoitsijat, joilla on ollut useita Titan-harvestereita, väittivät myös, että melutasot olivat niissä erilaisia. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että hydraulikan letkujen asennuksessa on ollut eroja.

Lämmitys- ja jäähdytysteho oli melkein kaikkien mielestä riittävä. Ilmastoinnin automaattinen lämpötilansäätö ei kuitenkaan ollut toiminut täysin moitteettomasti kaikissa koneissa. Huurteenestoa olisi myös parannettava. Isot lasit tarvitsisivat suuttimia yläreunoillakin, sillä tällä hetkellä lasit menevät helposti huurteisiksi, jos ohjaamoon pääsee kosteutta esimerkiksi kuljettajan märkien vaatteiden kautta. Lasien sulattaminen aamulla voi myös olla aikaa vievää.

Aurinkoverhot saivat lähes kaikilta kritiikkiä. Niitä ei haluttaisi käyttää, mutta on pakko, jotta ohjaamo ei olisi liian kuuma. Etulasin poikkirimat haittaavat näkyvyyttä, ja verhojen ja lasien väliin tulee myös helposti ikäviä heijastuksia. Tämän lisäksi lasihin liimatut reunasuikaleet haittaavat näkyvyyttä normaalitilanteissa.

Ohjaamoon pääsy sai kehuja. Ovi on iso ja aukeaa riittävästi, portaat ovat hyvät ja kädensijoja löytyy. Oven paineilma-avusteinen toiminta on myös suosittu. Pienet huomautukset tulivat portaiden ylimmästä askeleesta, joka on turhan kapea. Ohjaamopilarin edessä olevassa kaaressa olisi myös pientä parantamista, nyt siinä voi huonossa tilanteessa satuttaa sormensa.

Säilytystiloja kaivattaisiin lisää. Paikkaa pikkuosille kaivattiin erityisesti. Tehtaan omat testikuljettajat huomauttivat, että tilaa kaikille ohjekirjoille pitäisi löytyä. Kysymykseen, tarvittaisiinko jokin työtaso, jolla eväitä voi syödä, tai jonka päällä huoltomies voisi pitää kannettavaa tietokonetta, ei juuri saatu myönteistä vastausta. Sellaista ei yleensä oltu kaivattu, vaikka joku vastaajista olikin pitänyt paljon pöydästä, joka oli aiemmin IQAN-koneissa.

Ohjaamon sisustusmateriaalit eivät saaneet suurempia moitteita, mutta todettiin, että verhoilu on vaikea pitää puhtaana. Varsinkin oven verhoilu kerää likaa. Yksi asiakas valitti, että ohjaamon kokoonpanolaatu oli huono, että osat eivät pysyneet paikoillaan.

Kysyttiin myös, tarvittaisiinko ohjaamoon tehdasasenteista jääkaappia tai ruoanlämmittintä. Monen mielestä tarvittaisiin, sillä niitä on jo jälkiasennettuina monessa koneessa, vaikka tilaa on niukasti. Ruotsalaiset urakoitsijat kertoivat, että heillä on työnantajina velvollisuus pystyä tarjoamaan ruokailumahdollisuudet työntekijöilleen, sen takia sellaisia lisävarusteita tarvitaan. Erimielisyyksiä oli kuitenkin siinä, että kumpi on tärkeämpi, jääkaappi vai lämmitin.



Yksi myyjä kertoi lisää yksityiskohtia mitä pitäisi ottaa huomioon uutta ohjaamoa suunniteltaessa. Eräs toivomus olisi hyvän paikan saaminen harvesteripään mittasaksille, johon myös pidemmät mittasakset mahtuisivat. Toisena toivomuksena olisi suurempi jalkatila ohjaamon etuosaan. Näkyvyyttä pohdittaessa pitää muistaa, että tulostin voi olla tiellä nykyisessä paikassaan. Pieni yksityiskohta, joka helpottaisi kuljettajan elämää, olisi lattian muotoileminen sellaiseksi, että oviaukon alareunassa ei olisi pystyssä olevaa reunaa, jolloin roskat saisi helpommin siivottua ulos.

## 3.2 Johtopäätökset

Asiakkaiden kommentteista saatiin hyvä kuva siitä, mitä pitää parantaa. Tärkeimmät parannuskohdat ovat näkyvyyden parantaminen pilareiden sijoittelulla ja melutason pienentäminen. Aurinkoverhojen toimivuutta pitää parantaa, kuten myös huurteenestoa ja paletteja. Ohjaamon sisäistä layoutia voisi miettiä uusiksi, jotta saataisiin enemmän säilytystiloja ja matkustajalle parempi tila.



## Luku 4

# Kilpailijoiden ohjaamot

Kun lähtee kehittämään omia tuotteita, on tärkeää tuntea kilpailijoidenkin tuotteita, jotta tietää mihin pitää pyrkiä. Samalla voi myös saada uusia oivalluksia. Tässä luvussa tutkitaan Logsetin kilpailijoita, joista tarkemmin tutkittavina ovat John Deere, Komatsu Forest ja Ponsse. Nämä edustavat maailman kolmea suurinta tavaralajimetsäkoneiden valmistajaa [10]. Kyseiset valmistajat ovat myös valinneet täysin erilaiset konseptit harvestereilleen, joten suuria eroja löytyy ohjaamojen perusrakenteista. Luvun lopussa on pintapuolisesti tutkittu muiden pienempien valmistajien ohjaamoja. Suomessa ja muualla maailmassa on vielä muita metsäkonevalmistajia, jotka jätetään tässä käsittelemättä. Yksi näistä on ruotsalainen Rottne, joka varsinkin Ruotsissa, mutta myös maailmanlaajuisesti, on merkittävä valmistaja. Rottnen koneita ei kuitenkaan myydä Suomessa, joten niitä ei päästy tutkimaan lähemmin.

Tämän luvun tiedonlähteenä toimii valmistajien esitteet sekä käynti FinnMetko-messuilla Jämsässä 30.8.-1.9.2012.

### 4.1 John Deere

John Deere on maailman suurin metsäkonevalmistaja. Yrityksen tavaralajimetsäkoneet valmistetaan Suomessa, tarkemmin Joensuussa. [10]

John Deere -harvestereiden perusrakenteessa nosturi on edessä, ohjaamo nosturin takana eturungossa ja moottori takarungossa (kuva 4.1). Edessä on teli, tai pienissä malleissa jäykkä akseli, ja takana on jäykkä akseli. Peruslayout on siis samanlainen kuin Logsetin harvestereissa, paitsi että runkonivel on sijoitettu takarunkoon ja varustettu levyjarrulla.

Vuonna 2008 John Deere lanseerasi E-sarjansa [11]. Käänteentekevää siinä oli, että kaikki koneet, myös kuormatraktorit, oli varustettu samalla kaikkiin suuntiin kallistuvalla ja kääntyvällä ohjaamolla. Harvestereissa ohjaamo kääntyy  $\pm 80^\circ$  ja kuormatraktoreissa kääntökulma on  $+20/-290^\circ$ .



Kuva 4.1: John Deere E-sarjan harvesteri (kuva John Deere)

#### 4.1.1 Ohjaamon rakenne

Ohjaamossa on viisi pilaria. Edessä on kaksi, takaviistossa on kaksi ja kuljettajan takana on viides leveä pilari. Koska ohjaamo pyörii, kuljettajan ei oikeastaan koskaan tarvitse katsoa suoraan taakse, joten tällainen pilari ei haittaa näkyvyyttä. Takaviiston pilarit ovat hiukan kuljettajan takana, eli näkyvyys suoraan sivuille on myös hyvä. Ohjaamon takaosa on porrasmainen, eli takalasit ovat ulompana kuin takaseinä vyötärölinjan alla. Tämä rakenne antaa lisää sisätilaa kuljettajan taakse, ilman että ohjaamon alaosa veisi liikaa tilaa kuormatraktorin ahtaassa eturungossa.

Ohjaamon muotoilu antaa varsin pyöreän vaikutelman (kuva 4.2). Ohjaamon ulkoreunoja pitkin kulkee profiiliputki, jonka pyöreä puoli on ulospäin. Alempien sivuseinien ulkopinta on litteä, muuten suuri osa ohjaamon ulkopinnoista on kaarevia tai kaksoiskaarevia.

Kaikki lasit ovat polykarbonaattia KRD:n KASI-pinnoitteella. Etulasi on kevyesti kaksoiskaareva, pääkaarevuus seuraa ohjaamon sivuprofiilia, mutta poikittain on vielä pieni kaarevuus. Sivulasien alareuna on suora, mutta sivulasien yläpää on kevyesti taitettu sisäänpäin. Takalasit ovat voimakkaasti kaarevia, ja kun niitä katsoo lähemmin, näkyy pieni kaksoiskaarevuus. Kaikki lasit ovat liimattuja, paitsi oikea takalasi, joka toimii hätäpoistumistienä ja siksi on kiinnitetty saranoilla. Etulasin sivureunoja suojaa kumilista.

Katon yläpinta muodostuu prässätystä pellistä. Etulasin yläpuolella on musta teräskalteri, joka todennäköisesti auttaa ohjaamoa kestämään FOPS-vaatimuksia. Kalterin etureunan alle on ripustettu kuusi työvaloa. Siellä ne ovat suojassa, samalla kun ne ovat riittävän kaukana etulasista, ettei valo heijastuisi siihen.

Vakautuva ripustus on varsin yksinkertaisesti suunniteltu. Kääntölaakerin edessä on pallonivel ja kääntölaakerin takana on alhaalta kaksi hydraulisyylinteriä, joilla ohjaamoa voidaan kallistaa. Jotta ohjaamo ei pääsisi liikkumaan sivusuunnassa, vaakasuora reaktiotanko kulkee kääntölaakerin oikealta puolelta runkoon. Ohjaamon kääntö tapahtuu hydraulimoottorilla, mikä mahdollistaa suuren kääntökulman. Letkutus





Kuva 4.2: Lähikuva John Deere -harvesterin ohjaamosta

ohjaamoon on myös varsin yksinkertainen, koska letkut menevät suoraan alhaalta kääntölaakerin läpi. Letkut voivat siksi pitkän päälle olla alttiita kulumiselle.

Kääntölaakerin päällä on välikehto, johon ohjaamo on kumipuslilla ripustettu. Välikehto koostuu neljästä varresta, jotka kulkevat ohjaamon alla ja ohjaamon edessä sekä takana taittavat ylöspäin, jotta ohjaamon kiinnityspisteet saadaan korkeammalle. Välikehdon varret ovat ristin muodossa ja niiden päissä olevat puslat on niin päin sijoitettu, että säteet osoittavat ohjaamon keskelle. Ylhäältä katsottuna puslat ovat ohjaamon kulmissa. Kiinnitysrakenteet on sekä edessä että takana peitetty mustilla muovirakenteilla. Etummainen muoviboksi sisältää tuulilasinyyhkiön moottorin sekä lasinpesulaitteen säiliön. Raitisilman sisäänotto ja ilmanvaihtopuhallin on piilotettu takaseinään. Muoviosat ohjaamon ulkopuolella mahdollistavat helposti muotoiluun sopivia kompleksisia muotoja.

Ohjaamo voi vielä oikean sivulasin alla olla varustettuna vihreällä muoviboksilla, johon öljyntorjuntapeite saadaan piiloon.

#### 4.1.2 Sisätila

Kuvassa 4.3 näkyy John Deeren harvesteriohjaamo, kun vasemmalla puolella oleva iso ovi on auki. Ovelle pääsee hyviä portaita pitkin, mutta oven sulkeminen sisältä on raskasta ja vaatii käytännössä että kuljettaja nousee istuimesta. Kulkeminen ohjaamoon sisään ja sieltä ulos edellyttää myös, että vasen käsinoja nostetaan ylös. Istuin on Be-Ge:n valmistama ja käsinojen käyttökorkeus on säätöruuveilla säädettävissä.

Ohjaamon sisusta on valoisa ja antaa viimeistellyn vaikutelman. Katto ja takapilarit on verhoiltu vaalealla kankaalla, ja vyötärölinjan alapuolella on vaaleanharmaat





Kuva 4.3: John Deere -harvesteriohjaamon sisätila

muovipaneelit. Paneelit ovat järeän tuntuisia ja niiden pinta on kova. Etupilareilta puuttuu verhoilu ja rungon vihreä väri on niissä esillä. Etupilarit ovat leveät ja aiheuttavat suurehkon katvealueen.

Lattialla on valettu kumimatto, mikä on mahdollista John Deeren suurten valmistusmäärien takia. Valettu matto näyttää siistiltä, ja korkeiden reunojen ansiosta lika ei pääse kertymään nurkkiin. Edessä on kaksi poljinta, kaasusäädin ja jarru. Molemmat on ylhäältä ripustettu. Jalkatila on muuten niukahko.

Aurinkoverhojen rullat on nätisti piilotettu verhoiluun. Etulasissa on ylhäällä poikittainen tanko ohjaamassa etuverhoa lasia pitkin. Takalasin kohdalla on verhoilussa puolessavälissä sekä ylhäällä että alhaalla pieni nuppi, joka ohjaa verhoa kaarelle. Lasien reunoissa on leveät kiinteät aurinkoverhoteipit.

Säilytystiloja löytyy runsaasti. Ovessa on sekä avonainen että kannellinen lokero, oikealla puolella on syvä kannellinen lokero ja sen edessä mukiteline. Ovessa on myös paikka vaahtosammuttimelle. Kuljettajan takana, vasemman takalasin edessä, on tasainen alusta, joka toimii matkustajanistuimena. Alustan alla on säilytyslokero. Vastaavasti oikean takalasin edessä on sulakkeet kannen alla. Oikeassa takanurkassa on myös tilaa valinnanvaraiselle ruokalämmittimelle. Ensiapupakkaus on ripustettu kattoon ja oikeaan B-tolppaan voidaan kiinnittää harvesteripään kalibrointimittasakset.

Hyvä idea ohjaamon suunnittelijoilta on ohjaamon varustaminen kahvoilla, josta kuljettaja voi pitää kiinni. Ohjaamon oikealla puolella on järeä kädensija ja katossa on kaksi kahvaa, joista kuljettaja voi halutessaan nostaa itsensä ylös.

### 4.1.3 Hallintalaitteet

Mekaanisia sähkökytkimiä löytyy ohjaamosta hyvin vähän. Oikeassa sivukonsolissa on pieni vaakasuora kytkinpaneeli, jossa on virta-avain, portaiden kytkin ja ilmastoinnin ohjainpaneeli. Katon vasemmalla puolella on Webaston oma säätöpaneeli. Radio on etukonsolin oikeassa päässä ja kaiuttimet ovat katossa.

Kuljettajan edessä, etukonsolin päällä, on ohjausjärjestelmän ja mittalaitteen näyttö. Sen alla on PC:n näppäimistö ja kosketuslevy, jotka ovat piilossa etukonsolissa, mutta suuntaisvarsissa ripustetut ja helposti vedettävissä esiin.

Koneen tärkeimmät hallintalaitteet ovat tietenkin käsinojen vivut ja paletit. John Deere luottaa nosturin minivipuhjaukseen, muut toiminnot ohjataan palettien napeilla vipujen edessä (kuva 4.4). Minivipujen keskiasento on vähän sisäänpäin osoittava, mikä tarjoaa kuljettajalle rennomman käsiasennon.



Kuva 4.4: John Deere -harvesterin ohjausvivut ja painonappipaletit

Palettien napit koostuvat yhtenäisestä silikonimatosta, johon painonapit on muotoiltu. Tämän ratkaisun etu on puhtaanapysyvyys, sillä nappien välinen tila on avonainen, eikä likaa voi kertyä mihinkään ja silikonimaton puhdistaminen käy helposti. Nappien tuntuma on erittäin hyvä, painallukseen tarvittava voima on pieni ja painalluksen "klik" on täsmällinen. Nappeihin on vielä muotoiltu eri muotoja yläpintoihin, jotta napit löytyisivät helposti niihin katsomatta.

Painonappien lisäksi on vasemmassa paletissa sormenpäällä ohjattava suppilon muotoinen vipu, jolla koneen runko-ohjausta ohjataan. Oikeassa paletissa on pitkittäissuunnassa liikkuva vipu, jolla harvesterinosturin tilttiä ohjataan. Oikean



paletin edessä on toinen pieni nappipaneeli, jolla ohjataan ylimääräisiä toimintoja kuten esimerkiksi tuulilasinpyyhkijää ja valoja.

Tärkeä huomio on se, että kaikki hallintalaitteet ovat identtiset harvestereissa ja kuormatraktoreissa. Tämä tuo helpotusta valmistajalle, kun ohjaamot muutenkin ovat samanlaiset molemmissa konetyypeissä. Palettien merkinnöissä on kuitenkin pieniä eroja, kuten se, että nosturitiltilin vivulla ohjataan kuormatraktorissa puskulevyä.

## 4.2 Komatsu Forest



Kuva 4.5: Komatsu 911.4 -harvesteri (kuva Komatsu Forest)

Komatsu Forestin metsäkoneet valmistetaan Ruotsin Uumajassa. Tästä huolimatta koneiden juuret ovat osaksi suomalaiset, sillä yrityksen historia pohjautuu suomalaisen Valmetin ja ruotsalaisen Volvo BM:n yhteistyöhön 1980-luvulla. Komatsu osti metsäkonetoiminnan vuonna 2004, mutta koneet kulkivat kuitenkin Valmetin nimellä vuoteen 2011 saakka. [12]

Komatsun harvestereilla on omanlainen, niille ominainen perusrakenne (kuva 4.5). Ohjaamo ja nosturi ovat vierekkäin samalla kääntökehällä, ja tämä taso on vielä nivelöidysti kiinni rungossa, jotta ohjaamo ja nosturi voivat pysyä vaakasuorassa maastosta riippumatta. Tätä ratkaisua on sovellettu vuodesta 1984 lähtien, kun ensimmäinen 901 yksioteharvesteri lanseerattiin. Sen jälkeen kun kaksioteharvesterit syrjäytyivät, kaikki Valmetin harvesterit ovat seuranneet tätä samaa peruskonseptia. [12]

Ohjaamon ja nosturin sijoittamisesta vierekkäin on sekä hyötyjä että haittoja. Etuihin kuuluu se, että nosturi ei koskaan peitä näkyvyyttä harvesteripäähän, sillä



nosturi ei ole koskaan edessä, vaan aina sivulla. Ohjaamo seuraa nosturin liikkeitä automaattisesti, ja kuljettajalla on aina harvesteripää näkökentässä. Haittapuolena on, että ohjaamo on alttiimpi nosturista tuleville iskuille ja tärinöille. Kuljettajan mukavuutta voi myös haitata, että ohjaamo aina liikkuu nosturin liikkuesssa, myös kaikkia pieniä korjausliikkeitä tehdessä ja koska kuljettaja istuu poikkeutettuna kääntöakselista, kaikki käännökset aiheuttavat myös pituussuuntaisia kiihtyvyyksiä kuljettalle. Tämän lisäksi nosturi haittaa näkyvyyttä oikealle.

Ohjaamon sijoitus vaikuttaa sen rakenteeseen ja muotoon. Kun ohjaamo on nosturin vieressä, tila on sivusuunnassa aika rajoittunut, kun taas pituussuunnassa on vapaasti tilaa. Tämän takia Komatsun ohjaamo on pitkä ja kapea.

### 4.2.1 Ohjaamon rakenne

Komatsun harvesteriohjaamot edustavat vähän kulmikkaampaa muotokieltä. Useimmat valmistajat käyttävät nykyään korkeaa kaarevaa etulasia hyvän ylänäkyvyyden saavuttamiseksi, kun taas Komatsu on valinnut vain kevyesti kaarevan etulasin ja sen jatkeena erillisen kattolasin. Vyötärölinjan alapuolella on joitakin kaarevia pintoja, muuten on paljon suoria pintoja.

Etu- ja sivulasit ovat 15 mm paksua polykarbonaattia. Vasen sivulasi on myös kevyesti kaareva, muut lasit ovat suorat. Etulasi on sekä pultattu että liimattu, muut lasit on vain liimattu. Takalasi koostuu kolmesta lasista, joiden välissä on kapeat pilarit.

Etupilarit ovat piilossa mustien muovipaneelien takana ja etulasin alla on musta muovikotelo tuulilasinpyyhkijän kiinnitykselle. Etu- ja kattolasien välissä on viiden valon valokruunu, joka on helposti taitettavissa alas, matalamman kuljetuskorkeuden saavuttamiseksi.

Ohjaamon ja nosturin yhteisen kääntökehän alla on vakautus, joka koostuu nivelestä ja kahdesta hydraulisylinteristä. Pienemmissä harvestereissa ohjaamo on ripustettu neljällä ohjaamon alla olevalla puslalla, kun taas suurimmassa mallissa, 941, takapuslien kiinnitys on nostettu korkeammalle, takalasien alle.

### 4.2.2 Ohjaamon sisätila

Harvesteriohjaamon ovi sijaitsee vasemmalla puolella (kuva 4.8). Ohjaamoon pääsy on vähän hankala, sillä ohjaamon ulkopuolella ei ole portaita, vaan koneeseen nouseaan ensin telien välistä edessä ja sitten pyörien päältä kiivetään ohjaamoon. Istuin on Be-Ge:n valmistama ja kun se käännetään vasemmalle, ohjaamoon pääsy ja sieltä poistuminen helpottuu.

Sisustus koostuu suurimmaksi osaksi ohuesta ABS-muovista. Katto ja etupilarit on verhoiltu harmaalla huovalla ja tasaista lattiaa peittää muotoon leikattu kumimatto. Jalkatilaa on suhteellisen hyvin ja oikeassa etunurkassa ovat kaas- ja jarrupolkimet vierekkäin.



Kuva 4.6: Komatsu 911.5 -ohjaamon sisätila

Syvempiä säilytystiloja löytyy ovesta ja vasemmasta etunurkasta, takalasiin edessä on matalammat säilytyskolot. Vasemmassa B-pilarissa on pieni sammutin ja mukiteline, katosta löytyy vielä runsaskokoinen säilytystila. Kuljettajan takana on taso, jota kuljettaja voi käyttää työtasona, jos istuin käännetään ympäri. Taso voi muuten toimia matkustajanistuimena ja tason alta löytyy tulostin, hyvin suojassa luukun alla.

Koneen PC on piilotettu tulostimen alle ja oikeasta sivupaneelistä löytyy sulakkeet avattavan luukun takaa. Ilmastoinnin puhallin on sijoitettu ohjaamon oikeaan takaosaan, mutta suuttimia on niukasti, ainoastaan edessä ja oikealla.

Etu- ja ylälasin aurinkoverho on tyylikkäästi piilotettu katon verhoiluun ja kulkee lasia pitkin ylhäällä olevan poikittaisen tangon kautta. Sivulasien aurinkoverhot on myös piilotettu verhoiluun. Takalasiin on takapilareiden kohdalla kaksi pystytolppaa ohjaamassa aurinkoverhoa.

### 4.2.3 Hallintalaitteet

Harvesteriohjaamossa virta-avain sekä tuulilasinpyyhkijän ja valojen mekaaniset sähkökytkimet on sijoitettu oikeaan sivukonsoliin. Radio sijaitsee etuoikealla ja kaiuttimia on katossa sekä etukulmissa. Katossa on myös Webaston oma



käyttöpaneeli.

Etulasin edessä on PC:n ja mittalaitteen suuri näyttö ja toinen pienempi näyttö peruutuskameralle. PC:n näppäimistö on langaton ja sille ei ole mitään käyttötelinettä, vaan se pidetään sylissä silloin kun sitä käytetään, muuten se laitetaan oikean sivukonsolin seinässä olevaan pidikkeeseen.

Konetta ohjataan klassisilla EME-kahvoilla (kuva 4.7). Kahvoista pidetään pystyotteella kiinni koko kädellä ja ympäri kahvaa on lisätoimintoja, joita voidaan helposti käyttää samaan aikaan, kun kahvoja liikutetaan. Kahvassa on proportionaalinen keinukytkin, painonappeja, neljään suuntaan liikkuvat ”helikopterikytkimet” ja kahteen suuntaan liikkuvat vivut. Kahvan ulkopuolella on pehmustettu kaari, jonka avulla käsi pysyy paremmin kahvassa. Kahvojen kämmentä vasten olevat pinnat on puusta tehty. Harvesteri voidaan myös varustaa minivipuohjauksella, mutta EME-vivut ovat yleisemmät.



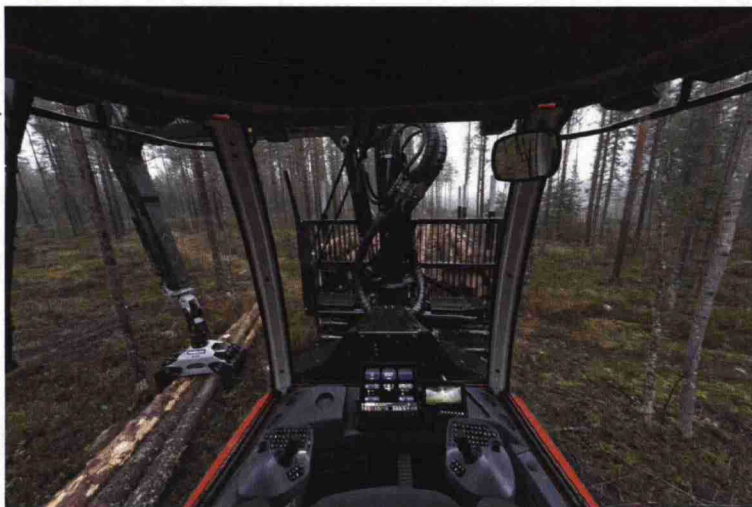
Kuva 4.7: Komatsun käyttämät klassiset EME-kahvat

#### 4.2.4 Komatsun kuormatraktoriohjaamo

Komatsu Forest lanseerasi 2012 uudet kuormatraktorimallit 855 ja 865. Uudet mallit saivat myös uudet ohjaamot. Uudet ohjaamot ovat perinteiseen kuormatraktoriityyliin kuusipilarisia, mutta pilareiden sijoituksella ja koolla on pyritty parantamaan näkyvyyttä. Uuden ohjaamon etu- ja takalasisit ovat kaarevat, muut lasit ovat suorat. Ohjaamon runkoon on käytetty pyöreää putkea etu- ja takapilareissa ja ulkopuolella on prässätyillä sivupelleillä saatu juohevia muotoja. Katto on myös kaarevan muotoinen.

Sisustus on vaalea ja siistin näköinen (kuva 4.8). Sivukonsolin harjatusta metallista tehty kytkinpaneeli on tyylikäs yksityiskohta. Toinen fiksu yksityiskohta on se, että takalattian sähköiset polkimet on laitettu pienen, noin 5 cm korkean hyllyn päälle, joka tarjoaa jalalle mukavamman asennon käyttäessä niitä.





Kuva 4.8: Komatsu 865 -kuormatraktorin ohjaamo, laajakulmaobjektiivilla kuvattuna (kuva Komatsu Forest)



Kuva 4.9: Komatsun uuden kuormatraktoriohjaamon hallintalaitteet

Myös käsinojien paletit on uusittu (kuva 4.9). Paletit muistuttavat John Deeren paletteja siinä mielessä, että napit koostuvat yhtenäisestä silikonimatosta, ilman kiinteää kehystä nappien välissä. Komatsu on muotoillut paletin etuosan ylöspäin, jotta nappeja painetaan sormien päillä, kun taas John Deerellä on nappitaso poispäin kaltevana, jolloin nappeja painetaan sormenpäiden alapuolella.

### 4.3 Ponsse



Kuva 4.10: Ponsse Ergo 6w (kuva Ponsse)

Ponsse on suomalainen metsäkonevalmistaja, jonka kotipaikka on Pohjois-Savossa sijaitseva Vieremä. Ponssin harvestereilla on myös ominainen perusrakenne (kuva 4.10). Harvestereiden perusrakenne on yhteinen kuormatraktoreiden kanssa, eli moottori ja ohjaamo ovat eturungossa, ja takarungossa on harvestereilla kuormatilan sijaan harvesterinosturi. Ponssin harvestereissa ohjaamo ja nosturi ovat siis eri rungoissa ja suhteellisen etäällä toisistaan. Tälläkin on omat hyödyt ja haitat. Hyöty on ainakin se, että ohjaamo on paremmin suojassa kuormaimen iskuista ja värähtelyistä sekä se, että kuljettaja ehkä saa laajemman näkymän työkentästä. Haittoihin kuuluu kuitenkin, että näkyvyys voi olla huonompi kun nosturi on kauempana, samalla kun liikeratojen ennustaminen on kuljettajan etäisen perspektiivin johdosta vaikeampaa. Asiakkaiden toiveet lähemmästä nosturista Ponsse toteutti Fox-mallilla, jossa nosturi on sijoitettu lähemmäs keskiniveltä.

Ponssin ratkaisussa kone on kahteen suuntaan ajettavissa, työsuunta on taakse, mutta siirtymämatkoja voi ajaa eteenpäin. Istuin on siis käännettävä samalla tavalla kuin kuormatraktoreissa ja tällainen kahteen suuntaan ajettava ohjaamo on myös paljon tilavampi kuin perinteinen yhteen suuntaan ajettava harvesteriohjaamo. Valmistajalle yhteiset komponentit harvestereissa ja kuormatraktoreissa tarkoittavat hyötyjä sarjakokojen kasvun kautta ja urakoitsijalle samanlaiset koneet tarkoittavat sitä, että kuljettajat helpommin ja nopeammin pystyvät vaihtamaan koneesta toiseen. Huolto ja varaosavarastointi helpottuvat vielä.

Haittapuolena kun ohjaamo ja moottori ovat yhdessä on kuitenkin se, että ohjaamon varustaminen vakautuksella tai käännoillä on lähes mahdotonta. Siinä tapauksessa pitäisi kehittää ihan uusi ohjaamo, joka olisi pienempi. Vakautuksen puutteen Ponsse



on kuitenkin ratkaissut keinuvalla akselilla eturungossa, jolla voidaan vakauttaa konetta sivusuunnassa. Tämä ominaisuus ei kuitenkaan ole saatavissa, jos eturunko on varustettu telillä. Toinen mahdollinen vaara kun ohjaamo on lähellä moottoria on se, että ohjaamo voi olla alttiimpi moottorin melulle.

### 4.3.1 Ohjaamon rakenne

Ponssen ohjaamo on kuusipilarinen, kuten perinteisesti kuormatraktoriohjaamoissa. Takaruutu on viety kattoreunaan asti ylänäkyvyyden parantamiseksi. Ohjaamon sivuilla on prässätyt ponttonit, jotka sulautuvat yhteen moottoripeiton ja tankkien muotoihin, luoden yhtenäisen muotoilun koko koneelle.

Kaikki ruudut ovat polykarbonaattia, listoilla pultatut ja erittäin kevyesti kaarevat. Takatolpat ovat siroja neliöputkia. Työvalot ovat hyvin suojassa kattorakenteen sisällä verkkojen takana. Ovi on vasemmalla edessä ja hätäpoistumistienä toimii oikea etuikkuna. Kuusipilarisen rakenteen takia ovi on kapeampi kuin muiden merkkien harvestereissa, mutta sisään on kuitenkin suhteellisen helppoa päästä välitasanteena toimivan, rungossa olevan vasemman etusivuboksin ansioista. Ovi on kuitenkin sen verran kaukana istuimesta, että sitä on vaikeaa sulkea nousematta istuimesta.

Ohjaamo on perinteiseen kuormatraktoriin ripustettu neljällä puslalla, joista vasemmat ovat menosuunnassa ja oikeat ovat menosuuntaan nähden poikittain, mikä mahdollistaa ohjaamon kallistamisen oikealle, ohjaamon alla tehtäviä huoltotöitä varten.

### 4.3.2 Ohjaamon sisätila

Ohjaamo on viimeistellyn näköinen ja erittäin tilava (kuva 4.11). Kuormatraktoriin rakenteen ansiosta tilaa on runsaasti molempiin suuntiin. Etutilaa dominoi suuri tasainen alusta, joka voi toimia työtasona, tai jopa kahden miehen matkustajanistuinena. Oikea sivukonsoli kiertää kuljettajan istuinta kaarevassa muodossa ja tarjoaa tilaa mekaanisille sähkökytkimille. Istuin on Be-Ge-merkinen.

Sisustusmateriaalina on enimmäkseen käytetty harmaapintaista uretaania, joka on miellyttävän tuntuista. Kattoverhoilu on harmaanvärinen huopa ja lattialla on muotoon leikattu kumimatto. Lattia on kauttaaltaan tasainen. Edessä kaas- ja jarrupolkimet ovat vierekkäin oikeassa etukulmassa, takana jarrupoljin on kuljettajasta katsottuna vasemmassa kulmassa ja kaasupoljin oikeassa. Takapoljinten välissä on vielä kaksi sähköistä poljinta.

Säilytystiloja on runsaasti. Koko etutaso on avattavissa ja kannen alta löytyy pieni säilytyslokero, tulostin sekä elektroniikkayksiköt ja sulakkeet. Tulostimeen ja elektroniikkaan on helppo päästä käsiksi, mutta toisaalta elektroniikan suojaus ei ole paras mahdollinen, kun kaikki elektroniikka tulee esiin tulostinta tai säilytyslokeroa käytettäessä. Sivussa on avoin lokero, katossa on iso luukullinen säilytystila ja takana, poljinten takana on pieni avattava lokero. Ympäri ohjaamoa on myös muita,





Kuva 4.11: Ponssen ohjaamon sisätila

matalampia lokeroita. Oikeassa B-tolpassa on paikka mittasaksille.

Ilmastointilaite on ohjaamon oikeassa takakulmassa. Suuttimia on edessä, oikeassa sivukonsolissa ja takana. Ohjaamon yksinkertaisten muotojen takia aurinkoverhojen istuvuus on hyvä, ilman leveitä teippauksia laseihin. Takalasissa on kaksi pientä pleksipalaa tukemassa verhoa sivuilta. Aurinkoverhojen rullia ei ole kuitenkaan yritetty piilottaa, vaan ne ovat näkyvissä.

### 4.3.3 Hallintalaitteet

Ponsselle on ominaista uniikki hallintalaittefilosofia. Vanhemmissa harvestereissa käytettiin niin sanottuja pallokahvoja, jotka pohjimmiltaan muistuttivat perinteisiä minivipuja, mutta vivun alapää oli suuren pallon muotoinen, jolla kuljettajan käsi lepäsi ja johon kaikki ylimääräiset kytkimet oli koottu sormien ulottuville. Nyt harvestereissa on käytössä paljon huomiota herättäneet Comfort-kahvat (kuva 4.12).

Comfort-kahvojen idea on samanlainen kuin pallokahvojen, eli kaikki hakkuutyössä tarvittavat hallintalaitteet on koottu kahvoihin, jotta kuljettajan ei tarvitse vaihtaa otetta ja olisi helppoa ohjata nosturia ja harvesteripään toimintoja samaan aikaan. Samalla on haluttu tarjota kuljettajalle mahdollisimman rento asento.

Comfort-kahvassa käsi lepää kahvan päällä, käden levyisessä kourussa. Tällaisella



Kuva 4.12: Ponssin Comfort-kahvat, vasemmalla on vasen kahva takaa ja edestä, oikealla oikea kahva takaa ja edestä

otteella kahvaa voi ohjata kädellä ja sormet ovat vapaita käyttämään kahvojen nappeja ja kytkimiä. Peukalon kohdalla on neljään suuntaan liikkuva proportionaalinen kytkin sekä muita pienempiä kytkimiä. Kahvan etupuolella on 13 painonappia, joita voidaan käden muilla neljällä sormella käyttää. Kuljettajan suunnasta niitä nappeja ei näe, mutta ne ovat erikorkuiset, ja joissakin on pienet täplät, jotta oikeat napit löytyisivät sormilla helposti. Jotta sopivuus olisi mahdollisimman hyvä kaikille kuljettajille, kahvan päällä oleva tartuntapinta on saatavissa kolmessa eri koossa.

Comfort-kahvojen vieressä on lisäkytkimiä, joita ei tarvita hakkuutyön aikana, kuten esimerkiksi voimansiirtovalinnat. Runko-ohjaus on ohjattavissa keinukytkimellä oikeassa käsinojassa tai vasemmassa käsinojassa olevalla pyörivällä ratilla.

Ohjaamon takaosassa on mittalaitteen ja ohjausjärjestelmän näyttö. Näytön alla on PC:n näppäimistö, alhaalta ripustetulla keinuvalla telineellä, joka on helppo vetää esiin. Kosketuslevy on ohjaamon vasemmassa takakulmassa ja sen alta löytyy radio sekä ilmastoinnin hallintapaneeli.

Ponssin kuormatraktoreissa Comfort-kahvat on korvattu pelkistetyillä minivivuilla. Minivipujen yhteydessä ei ole perinteistä palettia, vaan ainoastaan ne samat lisätoiminnot, jotka harvesterissakin ovat Comfort-kahvojen vieressä.



## 4.4 Muut valmistajat

### 4.4.1 Eco Log



Kuva 4.13: Eco Log -harvesteriohjaamon sisätila

Eco Log on ruotsalainen metsäkonevalmistaja, jonka pääkonttori sijaitsee Söderhamnissa. Eco Login harvesterit ovat tunnettuja uniikista alustaratkaisustaan. Harvesterin ohjaamo on asennettu nosturin viereen, samalle kääntökehälle ja jotta koko kone pysyisi vaakasuorassa maastosta riippumatta, etutelit ja takapyörät on sijoitettu heiluntavarsien päihin, jolloin niiden korkeusasema runkoon nähden on muutettavissa.

Harvesteriohjaamossa (kuva 4.13) on neljä pilaria, jotka on sijoitettu ohjaamon kulmiin, mikä antaa hyvän näkyvyyden sivuille ja taakse. Leveät etupilarit rajoittavat kuitenkin näkyvyyttä etuviistoon ja nosturi näkyvyyttä oikealle. Uniikkia Eco Login harvesteriohjaamolle on se, että ovi on sijoitettu eteen, mikä mahdollistaa helpon pääsyn ohjaamoon eturungon kautta. Oven sulkeminen sisältä on kuitenkin raskasta. Koska ovi sijaitsee kaarevalla etupuolella, oven ylhäällä on oltava lippa, ettei sadevesi tai lumi pääse ohjaamoon, kun ovi avataan.

Lasit ovat polykarbonaattia ja listoilla pultattuja. Etulasi on kaareva, muut lasit ovat suorat. Etulasissa on myös poikittainen rima aurinkoverhoille. Takalasi toimii hätäpoistumistienä.

Hallintalaitteina käytetään samanlaisia painonapillisia minivipuja kuin Logseteissa, mutta paletit ovat Excidorin tekemiä. Mittalaitteen näyttö sijaitsee etuovessa



ja on varustettu suurella lipalla, joka suojaa auringon heijastuksilta. Oikeassa sivukonsolissa on vielä toinen näyttö.

#### 4.4.2 Sampo-Rosenlew

Sampo-Rosenlew on porilainen puimurivalmistaja, joka 1990-luvun puolestavälistä lähtien on myös valmistanut pieniä harvennusharvestereita. Harvestereissa on pyritty kustannustehokkuuteen jakamalla tekniikkaa puimureiden kanssa. FinnMetko-messuilla 2012 esiteltiin myös pientä kuormatraktoria.



Kuva 4.14: Sampo-Rosenlewin pienen harvesterin ohjaamo

Harvesteriohjaamon (kuva 4.14) runko koostuu profiiliputkista, jotka kiertävät ohjaamon ulkoreunoja. Edessä, etulasin alla, on ohjaamorungossa pidennys, jotta jaloille olisi enemmän tilaa. Etu- ja takalasisit ovat kaarevat ja pultatut, sivulasit suorat ja liimatut. Kaikki lasit ovat Margard-polykarbonaattia. Ohjaamossa on kaksi ovea, vasen toimii pääkulkutienä, oikea on hätäpoistumistie mutta toimii myös elektroniikan suojana. Kun oikea ovi avataan, päästään hyvin käsiksi elektroniikkakomponentteihin. Etu- ja takalaseissa on poikittaiset tolpat aurinkoverhoille.

Näkyvyys on hyvä kaikkiin suuntiin, koska pilarit ovat hytin kulmissa. Sisätila on kuitenkin aika rajoittunut ja jalkatilaa on niukasti. Sisustus on karu, ohjaamorungon paljaat maalipinnat ovat monissa kohdissa näkyvissä. Suuremmat pinnat on peitetty äänieristeellä, joka koostuu mustasta rei'itetystä keinoahasta, jonka alla on vaahtomuovi. Kojelauta ja sivukonsoli ovat mustaa peltiä. Ilmastointilaite on ohjaamon edessä ja suuttimia on vain edessä.

Hallintalaitteina toimivat Excidorin vanhat paletit ja minivivut.

#### 4.4.3 ProSilva

ProSilva on Ruovedellä sijaitseva pieni metsäkonevalmistaja, joka on erikoistunut pieniin ja ympäristölle hellävaraisiin metsäkoneisiin.



Kuva 4.15: ProSilva-harvesteriohjaamon sisätila

Harvesteriohjaamo (kuva 4.15) on kääntyvä. Harvinainen ratkaisu on se, että tärinää eristävät puslat ovat kääntölaakerin alla. Harvesteriohjaamon muotoilu on yksinkertainen. Etulasi on kaareva, kaikki muut pinnat ovat tasaisia. Monista muista merkeistä poiketen etupilareihin ei ole käytetty profiliputkea vaan tavallista pyöreää putkea. Näkyy myös, että erilaisia standardiputkia on käytetty moneen muuhunkin paikkaan.

Ohjaamoon pääsy on vaikea kunnollisten portaiden puuttumisen takia. Suoraviivainen muotoilu näkyy myös sisätilassa, jossa ympärillä on harmaita ABS-paneeleita. Katto on siistinnäköistä harmaata huopaa. Ohjaamossa on raitisilman sisäänotto sekä edessä että takana. Etulasin suuttimet ovat alhaalla kojelaudalla, kun taas takaikkunan suuttimet ovat katossa.

Hallintalaitteina käytetään joko IQAN-minivipuja tai EME-kahvoja.



#### 4.4.4 Logman

Logman on pieni metsäkonevalmistaja Kurikasta. Yhtiön tuotevalikoimaan kuuluvat sekä harvesterit, kuormatraktorit että korjurit. Yhteistä kaikille koneille on pyörivä ohjaamo, tämän lisäksi koneissa on monta erikoista ratkaisua. Harvestereissa ohjaamo on sijoitettu nosturin taakse, samalle pitkittäin kallistettavalle välirungolle. Nelipyöräisissä harvestereissa etuakseli on vielä kallistettava, jolloin saadaan nosturi ja ohjaamo joka suuntaan vakautuviksi. Korjurissa ohjaamo ja nosturi ovat vierekkäin samalla kääntökehällä ja sen erikoisuutena on, että hydraulikka ja elektroniikka on saatu kulkemaan kääntökehän läpi sellaisella tavalla, joka mahdollistaa rajattoman ympäripyörivyyden.



Kuva 4.16: Logmanin uudistettu ohjaamo

Logmanin vanha ohjaamo oli kuusipilarinen ja siinä oli kevyesti kaareva etulasi sekä taitetut takakulmalasit. Vanha ohjaamo oli ROPS-testattu 16 tonnin koneelle. Kasvavien konekokojen takia Logman on kehittänyt uuden ja järeämmän ohjaamon, joka on ROPS-testattu 25 tonnin koneelle.

Uudessa ohjaamossa (kuva 4.16) on entistä yksinkertaisemmat muodot. Ohjaamo on viisipilarinen, kapea viides pilari sijaitsee suoraan kuljettajan takana. Kaikki ruudut ovat suorat ja ylänäkyvyyden parantamiseksi on lisätty kattoikkuna. Kuljettajan kohdalla olevat B-pilarit heikentävät sivunäkyvyyttä.

Ohjaamon runko on tehty standardiputkista. Edessä on käytetty neliöputkia, B-pilareihin on käytetty leveämpiä suorakaideputkia. Ulkopuolelta ohjaamon kulmikkaita muotoja on yritetty piilottaa kaarevilla putkilla etupilareiden edessä ja kaarevasti leikatuilla sivupelleillä katossa.

Sisustus on yksinkertainen. Kaikki paneelit koostuvat suorista pinnoista, joissa



on mukavan tuntuinen karvainen pinta. Vaaleat pilarit ja vaalea keinonahkakatto lisäävät viihtyisyyttä. Ilmanvaihtopuhallin on katossa ja suuttimia löytyy sekä lasien alhaalta että katosta. Sivulasien aurinkoverhorullat on sijoitettu vaakasuoraan sivulasien poikki ja rullien alle jäävä lasi on peitetty kiinteällä aurinkosuojakalvolla. Hallintalaitteina harvesterissa käytetään EME-kahvoja.

#### 4.4.5 ProfiPro

ProfiPro on Nivalassa toimiva pieni konevalmistaja, joka tekee pieniä harvennusharvestereita. ProfiPro syntyi, kun entinen Nokka Profi meni konkurssiin ja sai uuden omistajan.



Kuva 4.17: ProfiPro 50:n ohjaamo messukunnossa

Ohjaamon (kuva 4.17) etupilareihin on käytetty profiliputkea ja kaikki lasit ovat Margard-polykarbonaattia. Etu- ja takalasisit on taivutettu pienellä kaarevuudella ja kiinnitetty listoilla. Sivulasit ovat suorat ja liimatut. Ovi on vasemmalla, oikea sivulasi toimii hätäpoistumistienä. Etupilareissa on kahvat, joihin kekseliäästi on kiinnitetty letkupitimet, jotka tukevat etulasin aurinkoverhoa sivuilta.

Sisätila antaa yllättävän siistin ja viimeistellyn vaikutelman. Materiaalina on käytetty harmaata ja valkoista ABS-muovia. Ilmastointi on oikeassa sivukonsolissa ja suuttimia on sekä lasien alla että etulasin yläreunassa. Hallintalaitteina ovat painonapilliset minivivut ja Excidorin vanhat paletit. Etukonsolin päällä on mittalaitteen näyttö ja tulostin.

Mielenkiintoinen yksityiskohta on suuri muovitankki, joka on ohjaamon takana, takaseinällä.

## 4.5 Johtopäätökset

Logsetin tärkeimmät kilpailijat ovat John Deere, Komatsu Forest ja Ponsse. Näiden koneet ovat kooltaan ja ominaisuuksiltaan samalla tasolla kuin Logsetin metsäkoneet. Myös Rottne ja Eco Log ovat merkittäviä kilpailijoita.

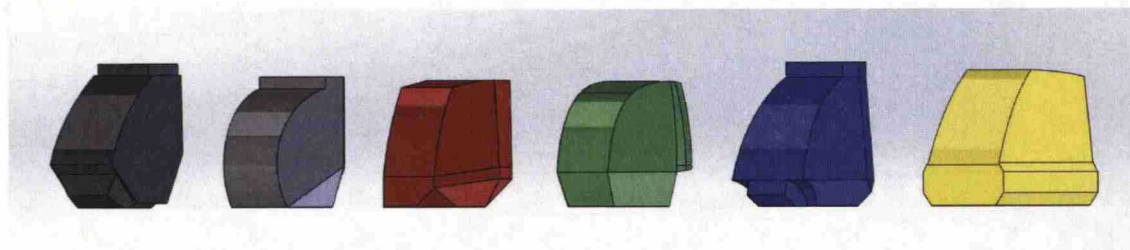
John Deere edustaa alan moderneinta ohjaamotekniikkaa, jossa on muotoilu ja viimeistely kohdallaan. Ponssen ohjaamo on puolestaan ehdottomasti tilavin, siinä on hyvät tilat ja hyvä huollettavuus. Ponssellä on myös uniikit hallintalaitteet, joita Ponsse käyttää myyntiargumenttina.

Pienten valmistajien ohjaamojen sisustus on yleensä aika karu, mikä pitkälti johtuu siitä, että laadukkaampien verhoiluosien valmistus pienissä sarjoissa on kallista. Näiden pienten valmistajien koneet ovat enimmäkseen pienemmässä kokoluokassa kuin Logsetin koneet ja niiden hintataso on myös eri, joten ne eivät suoraan kilpaile Logsetin kanssa.

Oven suljenta on melkein kaikissa merkeissä vaikea, koska ovi on iso ja raskas. Tämä toimii kuitenkin esimerkiksi Logsetissa, jossa on paineilma-avusteinen ovi. Portaat ohjaamoon eivät myöskään ole järkeviä kaikissa koneissa ja tilaa matkustajalle löytyy käytännössä vain suurten valmistajien ohjaamoista.

Eräs asia, joka on kaikissa koneissa yhtä huonosti hoidettu, on aurinkoverhot. Joissakin koneissa itse rullaverhon rullat on tyylikkäästi piilotettu, mutta kukaan ei ole vielä keksinyt hyvää tapaa saada aurinkoverhoja seuraamaan kaarevia laseja, pysymään värähtelemättä ja peittämään reunoihin asti. Tässä olisi mahdollisuus erottua joukosta uuden ohjaamon suunnittelussa.

Eri valmistajien ohjaamojen päämuotoja ja mittoja verrattiin vielä piirtämällä yksinkertaistetut 3D-mallit (kuva 4.18). Mitat ja muodot otettiin esitteistä, joissa oli piirustuksia koneiden päämitoista. Menetelmä on varsin epätarkka, koska ei ole varmuutta, onko esitteiden kuvat piirretty oikeassa mittakaavassa. Vertailusta nähdään kuitenkin, että kaikki ohjaamojen ulkomitat näyttävät olevan suurin piirtein samaa kokoluokkaa. Ponssen ohjaamon tilavuus on kuitenkin huomattavasti suurempi kuin muiden valmistajien ohjaamot.



Kuva 4.18: Yksinkertaistetut 3D-mallit harvesteriohjaamoista. Vasemmalta lähtien mallien tilavuusjärjestyksessä: Sampo-Rosenlew, Logset, Komatsu, John Deere, Rottne ja Ponsse.



## Luku 5

# Lainsäädännön vaatimukset

Ennen kuin voidaan siirtyä suunnittelemaan uutta ohjaamaa, pitää vielä tutustua lakien ja asetusten vaatimuksiin. Työkoneen käytön turvallisuuteen liittyy monta eri osapuolta. Päävastuu on koneen valmistajalla, joten suunnittelijan työ on siksi aina tärkeä. Työnantajalla, joka tekee työtä koneella, on kuitenkin suuri vastuu, johon sisältyy koneen oikea käyttö sekä kunnossapito. [13, s. 41]

### 5.1 EU:n konedirektiivi

Työkoneiden turvallisuudelle on asetettu tarkkoja vaatimuksia lainsäädännön kautta. Suomessa koneturvallisuuden kannalta tärkein laki, johon muut lait nojaavat, on työturvallisuuslaki, joka velvoittaa sekä koneen valmistajaa että työnantajaa huolehtimaan koneen käyttäjän turvallisuudesta. Vaatimukset on tarkemmin täsmennetty asetusten kautta.

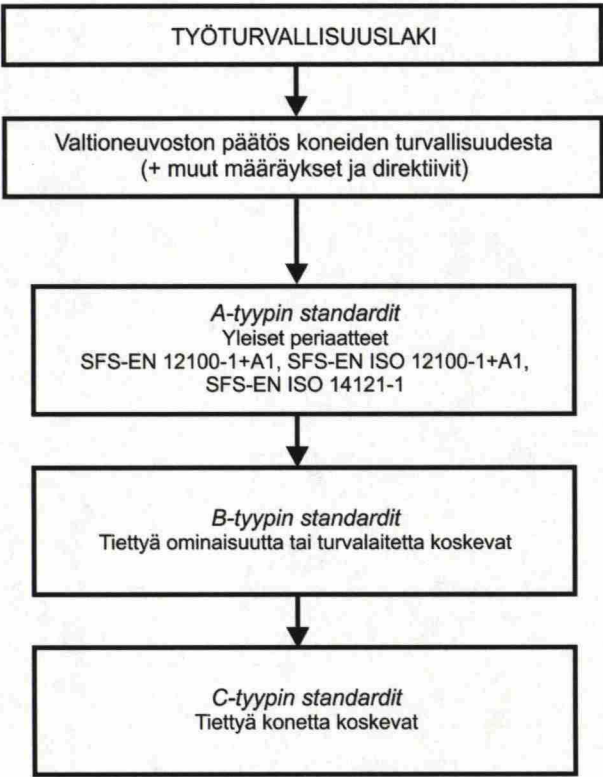
EU:n konedirektiivillä on keskeinen asema koneiden turvallisuudelle. Direktiivin tarkoitus on koneiden turvallisuuden yhdenmukaistaminen EU:n sisällä. Jos asetetaan yhteiset vaatimukset kaikille maille, kaupankäynti koneiden kanssa helpottuu, kun yhden maan säännöt täyttävä kone samalla täyttää myös muiden maiden säännöt. Monet EU:hun kuulumattomat eurooppalaiset maat ovat myös ottaneet samat säännöt käyttöön kaupankäynnin helpottamiseksi. Jokainen maa, EU-jäsen tai ei, saa kuitenkin asettaa myytävälle koneille omat vaatimukset, jotka saattavat olla tiukemmat kuin EU:n konedirektiivissä vaaditut asiat. Esimerkki tästä ovat paikalliset työpaikkaa koskevat määräykset kuten melu ja ilmanlaatu. [13, s. 35]

Vapaan liikkuvuuden lisäksi toinen konedirektiivin tarkoitus on terveyden ja turvallisuuden korkean tason varmistaminen. Ensimmäinen yhteiseurooppalainen konedirektiivi tuli vuonna 1989 ja astui Suomessa voimaan 1994, ennen kuin Suomi liittyi EU:hun. Direktiiviä on päivitetty kaksi kertaa, 1998 ja 2006. [14, s. 14]

Direktiivi on kuitenkin vain suositeltu määräys, joka laillisesti astuu voimaan vasta kun kukin jäsenmaa tekee sen perusteella oman lain. Nykyinen konedirektiivi astui voimaan Suomessa valtioneuvoston asetuksella 400/2008. Direktiivin liite sisältää kaikki koneita koskevat turvallisuusvaatimukset, kuitenkin erittäin yleisellä tasolla



[15]. Jotta vaatimusten täyttäminen olisi helpompaa, on kehitetty standardeja. Jos kone on suunniteltu tietyn standardin mukaan, valmistaja voi viitata käytettyyn standardiin, kun haluaa todistaa koneensa täyttävän konedirektiivin vaatimukset. Puhutaan yhdenmukaistetuista eli harmonisoiduista standardeista, kun tarkoitetaan sellaisia EN-standardeja, jotka liittyvät direktiivin liitteen turvallisuusvaatimuksiin. [16, s. 4-5]



Kuva 5.1: Koneita koskevan normijärjestelmän rakenne [13, s. 66] [16, s. 3]

Koneita koskeva normirakenne näkyy kuvassa 5.1. Standardit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin, A-, B- ja C-tyyppin standardeihin. A-standardit määrittelevät koneturvallisuuden perusfilosofian ja niitä on vähän. B-tyyppin standardit puolestaan käsittelevät tiettyjä suunnittelun osa-alueita, kuten ergonomiaa, turvalaitteita ja suojuksia. C-standardit ovat konetyyppikohtaisia standardeja, jotka määrittelevät miten A- ja B-standardien vaatimuksia toteutetaan juuri kyseisessä koneessa.

Yksi hyöty tästä hierarkiasta on se, että voidaan varmistaa että tietyt perusluontoiset turvallisuusperiaatteet standardoidaan vain kerran [17, s. 32]. Standardit antavat sekä työkaluja suunnitteluprosessin kehitykseen että teknisiä ratkaisuja koneiden suunnitteluun [16, s. 3-4].

A-standardi ISO SFS-EN ISO 12100 korostaa riskianalyysin tärkeyttä osana suunnitteluprosessia. Standardi esittää myös kolmiaskelisen suunnittelumenetelmän, jota tarvitaan konedirektiivin vaatimusten täyttämiseen. Ensimmäisenä askeleena on, miten suunnittelun avulla voitaisiin poistaa riskejä ja vaaroja niin pitkälle kuin mahdollista. Toisessa askeleessa poistetaan vaarat lisäämällä turvalaitteita,

kuten suojuksia ja hätäpysäytyksiä. Kolmannessa askeleessa pitää tiedottaa jäännösriskeistä käyttäjälle, esimerkiksi merkinnöillä ja käyttöohjeilla. [18, s. 53]

Konedirektiivin vaatimiin muodollisuuksiin kuuluu koneen mukana toimitettava ohjekirja, jotta käyttäjä pystyy käyttämään konetta turvallisesti. Tämän lisäksi jokaiselle koneelle pitää laatia vaatimustenmukaisuusilmoitus, jossa valmistaja vakuuttaa, että kone täyttää kaikki asetetut vaatimukset ja on direktiivin mukainen. Lopuksi koneeseen pitää kiinnittää CE-merkintä, joka myös ilmoittaa, että kone täyttää konedirektiivin vaatimukset. CE-merkintä laitetaan yleensä koneen tyyppikilpeen (kuva 5.2), jossa ilmoitetaan muut konedirektiivin vaatimat tiedot kuten tyyppimerkintä, sarjanumero ja rakennusvuosi [15, liite 1]. Valmistajalla pitää vielä olla koneelle tekninen rakennetiedosto, joka koostuu muun muassa piirustuksista, laskelmista, piirikaavioista, ohjekirjasta ja niin edelleen, ja sitä on viranomaisen pyynnöstä pystyttävä esittämään. [19, s. 16]



Kuva 5.2: Logsetin koneisiin kiinnitettävä tyyppi- ja CE-kilpi

Suunnittelussa kannattaa aloittaa selvittämällä, löytyykö suunniteltavalle konetyypille valmis C-standardi, josta käy ilmi mitä A- ja B-standardeja kannattaa käyttää, jotta suunniteltava kone olisi asetusten mukainen. C-standardin laatijat ovat standardia laatiessaan ottaneet huomioon, miten konedirektiivin turvallisuusvaatimukset voidaan parhaalla tavalla täyttää kyseisellä konetyypillä. [17, s. 34]

5.2 Metsäkoneita koskevat standardit

Konedirektiivin turvallisuusvaatimukset koskevat kaikkia koneita. Uusimpaan direktiiviin on kuitenkin lisätty huomio, että traktorit ja metsätraktorit eivät kuulu konedirektiivin alaisuuteen vaan omaan traktoridirektiiviin, 2003/37/EY [14, s. 48]. Tässä tapauksessa metsätraktorikäsite ei kuitenkaan ole aivan yksikäsitteinen, sillä traktoridirektiivin alussa lukee heti, että sitä ei sovelleta ”erityisesti metsätalouskäyttöön suunniteltuihin koneisiin, kuten juonto- ja kuormatraktoreihin, jotka on määritelty standardissa ISO 6814:2000” [20, s. 2]. ISO 6814 puolestaan on standardi, jossa metsäkonealan terminologia on määritelty. Tästä voidaan päätellä, että tässä työssä tutkittava harvesteri on yleisen konedirektiivin alainen.

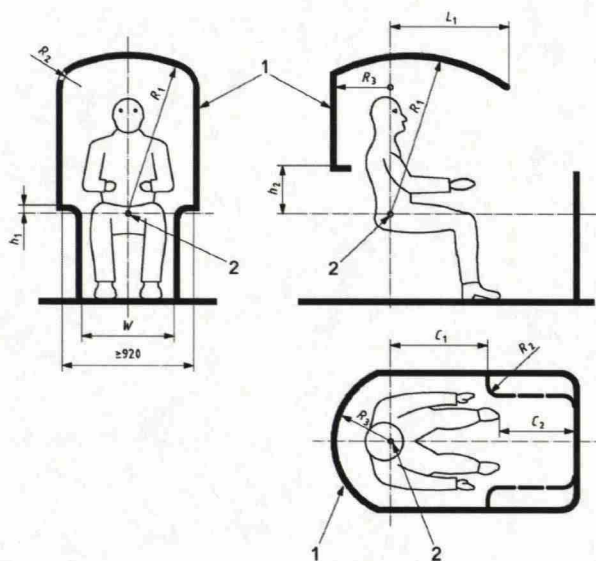
Aiemmin oli Suomessa kaksi eri metsäkonestandardia käytössä, kansainvälinen ISO 11850 ja suomalainen SFS 2940 [19, s. 43]. Suomalainen 2940 kumottiin vuonna



2005, ja tällä hetkellä voimassa oleva yleinen turvallisuusstandardi metsäkoneille on EN ISO 11850:2011, jonka on laatinut ISO:n metsäkonealacomitea ISO/TC 23/SC 15, jolla on päätoimisijansa Suomessa, MTT/Vakolassa. [21]

### 5.2.1 Metsäkonestandardi ISO 11850

ISO 11850-standardi luettelee kaikki metsäkoneilta vaaditut ominaisuudet. Suuri osa vaatimuksista liittyy ohjaamoon ja niitä käsitellään seuraavaksi. Monet vaatimukset edustavat ääripään minimivaatimuksia, sellaisia ominaisuuksia jossa loppuasiakkaan vaatimukset ovat paljon tiukemmat kuin standardin vaatimukset. Esimerkki tästä on kuljettajan minimitila, jonka pitää olla standardin ISO 3411 mukainen (kuva 5.3).



Kuva 5.3: Hahmotelma kuljettajan vaaditusta minimitilasta standardin ISO 3411 mukaan [22]

Tärkeä ominaisuus, jota loppuasiakas ei välttämättä näe ja jota olisi vaikeaa määritellä ilman standardeja, on ohjaamon lujuus. Metsäkonestandardi ISO 11850 vaatii, että kaikissa koneissa pitää olla suojarakenne, joka suojaa kuljettajaa jos kone kaatuu ympäri, eli niin sanottu ROPS (Roll-over protective structure). Tämän pitää olla standardin ISO 8082 mukainen. Ohjaamon pitää myös suojata kuljettajaa putoavilta esineiltä, jotka metsäkoneen tapauksessa voisivat olla esimerkiksi puut. Tämän suojan pitää täyttää standardin ISO 8083 vaatimukset, niin sanottu FOPS-standardi (Falling-object protective structure). Ohjaamon pitää vielä suojata kuljettajaa ohjaamoon tunkeutuvilta esineiltä, sen takia vaaditaan standardin ISO 8084 mukaista OPS:ia (Operator protective structure). Näitä standardeja esitellään seuraavissa luvuissa. Harvesterin ohjaamolta vaaditaan vielä, että työsuunnan lasitus on polykarbonaattia tai vastaavaa, joka suojaisi sinkoavalta teräketjulta.

Standardit ISO 14269 (maatalous- ja metsätraktorit) ja ISO 10263 (maansiirtokoneet) asettavat vaatimukset metsäkoneohjaamon ilmanvaihdon. Standardit koske-



vat lähinnä ilmanvaihdon määrää (min. 43 m<sup>3</sup>/h raitista ilmaa) ja lämpötilan taseisuutta ohjaamossa. Istuimelle on asetettu oma standardi ISO 11112 ja kaikissa koneissa pitää olla turvavyö ISO 6683:n mukaisesti.

Oville, portaille ja kahvoille on myös asetettu omat standardit ISO 2860 ja ISO 2867, joissa muun muassa ovien koot ja portaiden lujuudet on määritelty. Oviaukon riittävän koon lisäksi on tärkeää, että portaissa on hyvä pito ja että kuljettajalla on vähintään kolme tukipistettä kiivetessään ohjaamoon. Tärkeintä on kuitenkin huomata, että kaksi ovea vaaditaan ja niiden pitää olla eri puolilla ohjaamoja. Pääkulku ohjaamoon tapahtuu toisen oven kautta, toinen ovi toimii hätäuloskäyntinä. Hätäuloskäynti saa olla lukossa, kunhan on avattavissa ilman työkaluja sisältäpäin ja ohjaamossa on merkintä kertomassa, miten sen saa hätätapauksessa auki. Ovilta vaaditaan vielä, että ne voivat pysyä sekä auki että kiinni. Aukipysymistä varten on oviin yleensä asennettu kaasujousi.

Hallintalaitteilta vaaditaan, että ne toimivat luontevasti ja turvallisesti. ISO 6682 antaa ohjeita miten niitä pitää sijoittaa. Primääriset hallintalaitteet, joita käytetään koko ajan ajon aikana, on sijoitettava kuljettajan mukavuusalueille. Muut hallintalaitteet, joita ei käytetä niin usein, on sijoitettava ulottuma-alueen sisälle. Hallintalaitteiden vaatimat voimat on myös rajoitettu, ettei kuljettaja väsyisi tai rasittuisi. Nykypäivänä, kun kaikki toiminnot ovat sähköohjattuja, tämä on tuskin enää mikään ongelma. Ohjausjärjestelmän turvallisuudelle on myös olemassa omat standardit, ISO 13841 ja ISO 15998.

Ikkunoilta vaaditaan hyvä näkyvyys kaikissa tilanteissa. Tärkeimpiin ikkunoihin vaaditaan pyyhkijä ja huurteenestovaatimukset on määritetty standardissa ISO 10263-5. Sisätilavalaisuus on myös vaatimus. Sähkölaitteiden elektromagneettisen yhteensopivuuden vaatimuksia löytyy ISO 13766:sta ja ISO 14982:sta.

Ohjaamon pitää olla paloturvallinen. Ohjaamon kannalta tämä tarkoittaa esimerkiksi paloturvallisia materiaaleja, joiden palamisnopeus on pienempi kuin 100 mm/min. Riittävän lähellä kuljettajan paikkaa pitää olla paikka vähintään 2 kg:n sammuttimelle. Paloturvallisuuteen liittyy myös, että koneen ulkopuolelta löytyy päävirtakatkaisija.

ISO 11850 edellyttää, että metsäkoneen ohjaamo sisältää riittävästi säilytystiloja ja että ohjaamosta myös löytyy ensiapupakkaus. Standardissa on tarkasti määritelty, mitkä kaikki asiat koneen ohjekirjan pitää sisältää ja mitkä turvamerkinnot koneesta pitää löytyä.

Näiden vaatimusten lisäksi ISO 11850:sta löytyy lisää vaatimuksia, jotka eivät koske ohjaamon suunnittelua ja ne on sen takia jätetty mainitsematta tässä luvussa. [23]

### 5.2.2 ROPS, ISO 8082-1

ROPS-standardi määrittelee ohjaamon lujuusvaatimukset koneen ympärikaatumis-tilanteessa. Eri konetyypeille on määritetty omat ROPS-standardit, maansiirtokoneet, traktorit ja metsäkoneet seuraavat kaikki eri standardeja. Metsäkoneita koskeva ROPS-standardi on ISO 8082. Ominaista uusimmalle versiolle on jako kahteen osaan. 8082-1:2009 koskee perinteisiä metsäkoneita kiinteällä ohjaamalla, kun taas 8082-2:2011 koskee ainoastaan metsäkoneita, joissa ohjaamo ja nosturi on asennettu vierekkäin samalle kääntökehälle. Logsetin harvestereissa ohjaamo voi pyöriä, mutta se on kuitenkin asennettu eri kääntökehälle kuin nosturi, joten tässä työssä seurataan ISO 8082-1:n vaatimuksia. Standardissa mainitaan, että koneita, joissa on vakautuva ohjaamo, pitäisi tutkia enemmän, jotta saataisiin parempi standardi kuvaamaan niiden vaatimuksia [24, s. 1].

EU:n konedirektiivissä [15, liite 1] on määritetty, että kaikissa liikkuvissa työkonelissa, joissa on ympärikaatumisriski, pitää olla ympärikaatumissuoja, ja tätä pitää testata niin sanotussa ilmoitetussa laitoksessa. Suomessa ROPS- ja FOPS-testejä suorittaa MTT/Vakola Vihdissä [13, s. 57].

ROPS-testin idea on todistaa, että kuljettaja, joka istuu koneessa oikein, turvavyöllä kiinnitettynä, selviää loukkaantumatta jos kone kaatuu ympäri. Testin ajaksi asetetaan ohjaamoon kuljettajan vaatimaa turvatilaa edustava muoto, DLV (deflection-limiting volume), jonka avulla voidaan nähdä, osuuko mikään osa turvarakenteesta kuljettajaan turvarakenteen deformatiivissa (kuva 5.4). DLV:n paikka on ensin määritetty standardin SFS-EN ISO 5353 avulla, jossa istuimelle asetetaan erityinen laite, jota kuormitetaan tietyllä painolla, minkä jälkeen laitteen asennosta voidaan mitata istuimen SIP (seat index point) [25]. ROPS-testin aikana DLV on asennettu istuimen tilalle, samoilla kiinnityksillä kuin istuin olisi kiinnitetty. DLV:n mitat on määritetty standardissa SFS-EN ISO 3164 ja se perustuu standardin ISO 3411 mittoihin suurikokoisista kuljettajista [26].

Testissä ohjaamon pitää olla kiinnitettynä samalla tavalla kuin oikeassa koneessa. Kokonaista konetta ei tarvita, kunhan ohjaamon kiinnitys on samanlainen kuin oikeassa koneessa. Energiaa sitovia joustavia komponentteja, kuten kumeja ja jousia, pitää kuitenkin eliminoida, jotta testi oikeasti mittaisi turvarakenteen omaa suoritusta.

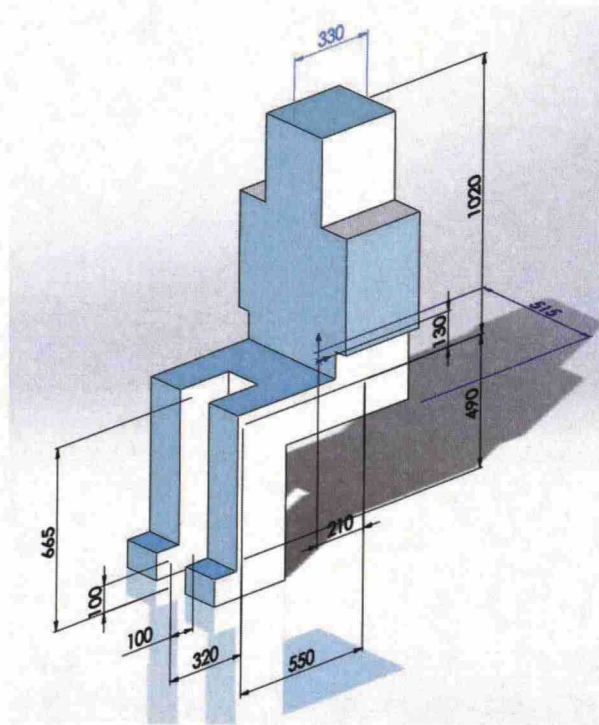
Testin ensimmäisessä vaiheessa turvarakenteen yläreuna kuormitetaan sivusta. Kuormituksen tulee olla niin hidas, että sitä voidaan pitää staattisena. Kuormitusta lisätään, kunnes sekä vaadittu voima että vaadittu absorboitu energia on saavutettu. Vaadittu voima ja energia ovat seuraavat:

$$F_{\text{sivu}} = 60000 \left( \frac{M}{10000} \right)^{1,2} \quad (5.1)$$

$$U_{\text{sivu}} = 12500 \left( \frac{M}{10000} \right)^{1,25} \quad (5.2)$$

Yhtälöissä voiman yksikkö on Newton ja energian yksikkö Joule. M viittaa koneen





Kuva 5.4: Lujuustesteissä käytetty rajatilavuus, DLV, ISO 3164:n mukaan

kokonaismassaan kilogrammoina.

Sivukuormittamisen jälkeen ohjaamo kuormitetaan suoralla palkilla ylhäältä, voimalla joka on newtoneissa 20 kertaa  $M$ .

$$F_{\text{pysty}} = 20M \quad (5.3)$$

Lopuksi seuraa vielä pitkittäissuuntainen kuormitus, jonka suuruus on:

$$F_{\text{pituus}} = 48000 \left( \frac{M}{10000} \right)^{1,2} \quad (5.4)$$

Standardissa on vielä määritelty mihin kohtiin suojarakenteessa kuormitukset kohdistetaan. Jotta varmistuttaisiin, että turvarakenteet varmasti kestävät kaikissa olosuhteissa, ohjaamorakenteen pitää olla testien aikana jäähdytettynä vähintään  $-18^{\circ}\text{C}$  lämpötilaan. Jos lämpötilavaatimuksia ei täytetä, on vielä erilaisia kovuusvaatimuksia, jotka ohjaamorakenteen materiaalin pitää täyttää.

Tärkeä huomattava asia on se, että ohjaamolta vaadittu lujuus riippuu koko koneen massasta. Kun suunnitellaan uutta ohjaamoa, pitää ottaa huomioon, mihin kaikkiin koneisiin ohjaamo on tarkoitettu käytettäväksi. Mallisarjan raskain malli on yleensä määräävä tekijä. Ongelma tässä voi kuitenkin olla, että jos samaa ohjaamoa käytetään laajassa mallisarjassa, sarjan pienimmissä koneissa ohjaamo voi olla varsin ylimitoitettu. [27]

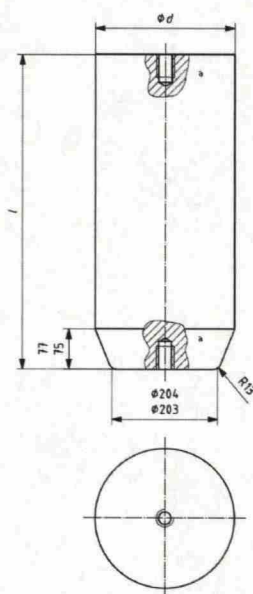


### 5.2.3 FOPS, ISO 8083

FOPS-standardi määrittelee ohjaamon lujuusvaatimuksia esineen pudotessa ohjaamon päälle ylhäältä. Harvesterin tapauksessa kyseessä voisi olla esimerkiksi kaatuvia puita. Metsäkoneiden FOPS-vaatimukset on määritetty standardissa ISO 8083, jonka viimeisin versio tuli vuonna 2006. Samalla tavalla kuin ROPS-rakenteille, myös FOPS-rakenteille on konedirektiivissä vaadittu asianmukaista testausta.

FOPS-testissä asetetaan ohjaamoon DLV samalla tavalla kuin ROPS-testissä. Turvarakenteen deformatiivisuus ei saa koskea DLV:hen ja testissä käytetty testikappale ei saa myöskään osua siihen. Samat vaatimukset ohjaamon kiinnitykselle pätevät FOPS-testissä kuin ROPS-testissäkin, kuten myös ohjaamorakenteen lämpötilavaatimus, vähintään  $-18\text{ °C}$ .

Testissä pudotetaan testikappale tietyltä korkeudelta ohjaamon päälle. Kappaleen paikan pitää olla sellainen, että se on DLV:n projektion sisällä ja sellainen, että se on mahdollisimman kaukana turvakatoksen kantavista rakenteista. Jokaista pintaa, joka on eri materiaalia, pitää testata erikseen. Testikappaleen massa ei ole standardissa määritetty, eikä myöskään pudotuskorkeus. Kappaleen potentiaalienergia ennen pudotusta on sen sijaan määritetty, kuten myös kappaleen muoto (kuva 5.5). Testissä voidaan käyttää joko 5800 J tai 11600 J testikappaleen alkuenergiaa. Metsäkonestandardi ISO 11850 vaatii, että testissä käytetään korkeampaa arvoa, eli 11600 J. Jos testikappaleen massa olisi 227 kg, niin kappaleen pitäisi silloin pudota 5,2 m korkeudesta. [28]



Kuva 5.5: FOPS-testissä käytetty paino [28, s. 3]

Jos ohjaamolta vaaditaan sekä ROPS- että FOPS-kestävyyttä, suoritetaan yleensä FOPS-testi ensin.

### 5.2.4 OPS, ISO 8084

OPS-standardin tarkoitus on varmistaa, että kuljettaja on suojattu ohjaamoon tunkeutuvilta esineiltä. Metsäkoneen tapauksessa kyseessä voisi olla puita ja oksia, joilta kuljettajaa pitää suojata. Uusin metsäkoneita koskeva OPS-standardi tuli vuonna 2003.

OPS-testin lähtökohdat ovat samat kuin ROPS- ja FOPS-testeissä, eli ohjaamo kiinnitetään samalla tavalla kuin oikeassa koneessa, ja ohjaamon sisälle asetetaan kuljettajan tarvitsemaa turvatilaa edustava DLV. Koska metsäkoneessa kuljettajan suoja muodostuu lasesta, OPS-testissä tarkistetaan, kestävätkö ohjaamon ruudut niihin tulevia kuormituksia. Testissä painetaan puolipallon muotoista kappaletta 17800 N voimalla, kohtisuoraan pintaa vasten, ja pidetään siinä minuutin ajan. Sama kuormitus toistetaan viidessä eri kohdassa jokaisella pinnalla. Ohjaamo läpäisee testin, jos testikappale ei missään kohdassa pääse ohjaamoon sisään. [29]

## 5.3 Muut vaatimukset

Konedirektiivin lisäksi EU on asettanut muitakin direktiivejä, jotka koskevat metsäkoneita ja työtä, joka niillä tehdään.

### 5.3.1 Melu

Metsäkonestandardi ISO 11850 kehottaa suunnittelijaa panostamaan äänieristykseen ja ohjaamon akustiikkaan sekä ilmoittaa, mitkä standardit voivat olla avuksi siinä. Standardi ei kuitenkaan määrittele mitään raja-arvoja äänitasolle. Konedirektiivi ei myöskään aseta mitään rajoja äänitasolle muuta kuin, että ohjekirjassa pitää lukea työskentelypaikan A-painotettu päästöäänenvainetaso, jos se ylittää 70 dB(A), ja jos se ei ylitä sitä niin pitää myös lukea, että taso ei ylity [15]. EU:lla on kuitenkin oma meludirektiivinsä, joka tarkemmin paneutuu näihin asioihin [30]. Sen mukaan melun yläraja kahdeksan tunnin työpäivän painotettuna keskiarvona on 87 dB(A). Direktiivi asettaa myös ylemmän (85 dB(A)) ja alemman (80 dB(A)) toiminta-arvon. Nämä raja-arvot velvoittavat työnantajaa suorittamaan toimenpiteitä suojaamaan työntekijöiden kuuloa esimerkiksi siten, että on käytettävä kuulosuojaimia. Suomen työturvallisuuslaki [31] noudattaa näitä samoja raja-arvoja.

Käytännössä ohjaamon hiljaisuus on kuitenkin niin tärkeä kriteeri kauppaa harkitsevalle asiakkaalle, että ohjaamoa kannattaa aina suunnitella niin hiljaiseksi kuin vain pystyy, riippumatta siitä, mitkä lain asettamat maksimi-arvot ovat.

### 5.3.2 Tärinä

ISO 11850 ei myöskään aseta mitään rajoja tärinälle. Tärinästä mainitaan ainoastaan asioita, jotka kannattaa ottaa huomioon suunnittelussa ja millä standardeilla tärinä lopuksi mitataan. Tässäkin tapauksessa työturvallisuuslaki



on se, joka asettaa raja-arvot Suomessa. Valtioneuvoston asetus 48/2005 [32] määrittää työnantajille, miten paljon työntekijät saavat altistua tärinälle työpäivän aikana. Asetus perustuu EU:n direktiiviin 2002/44/EY [33], jonka tarkoituksena oli työturvallisuusasioiden yhdenmukaistaminen Euroopassa, samalla tavalla kuin konedirektiivi yhdenmukaisti koneturvallisuusasiat. Direktiivin asettamat toiminta-arvot ovat käsitärinälle  $2,5 \text{ m/s}^2$  ja kehotärinälle  $0,5 \text{ m/s}^2$ , raja-arvot ovat puolestaan  $5 \text{ m/s}^2$  käsitärinälle ja  $1,15 \text{ m/s}^2$  kehotärinälle. Vanhojen koneiden on pitänyt yleisesti täyttää nämä vaatimukset vuodesta 2010 lähtien, mutta maa- ja metsätalouskoneille sallitaan siirtymäaikaa vuoteen 2014 asti [32].

Tärinädirektiivin vaatimusten täyttäminen on siinä mielessä haastavaa, että siinä ei ole annettu koneelle suoria rajoja, täyttääkö kone vaatimukset vai ei, vaan direktiivi liittyy enemmän koneella tehtävään työhön. Työpäivän aikana keskimääräinen tärinä ei saa ylittää tiettyjä raja-arvoja. Eli täriseväkin kone voi olla hyväksyttävissä, kunhan tärinäpiikit eivät ole jatkuvia. Toisena haasteena on se, että kun valmistaja saa koneen värähtelyt vähenettyä, se usein johtaa siihen, että koneen käyttäjä alkaa käyttää sitä korkeammalla nopeudella, mikä nostaa värähtelyt takaisin korkeammalle tasolle [34]. Toisaalta voidaan valmistajan kannalta todeta, että kone, jossa on matala värähtelytaso, mahdollistaa pidemmät työvaiheet ja korkeammat nopeudet, eli työnteko tehostuu.

### 5.3.3 EMC-suojaus

Sähkölaitteet voivat aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä ympärilleen. Tämän takia vaaditaan niiltä sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC, electromagnetic compatibility). EU on esittänyt direktiivin tästäkin, uusin kulkee tunnuksella 2004/108/EY [35] ja se astui lopullisesti voimaan vuonna 2009. Vastaavasti kuin konedirektiivin osalta, tämäkin direktiivi kuvailee vain yleisellä tasolla millaisia vaatimuksia asetetaan. Jotta olisi helpompaa todistaa, että tuote täyttää ehdot, on kehitetty eri tuotteille erilaisia standardeja, jotka sisältävät suunnitteluohjeita, joilla saadaan tuote täyttämään direktiivin vaatimukset. Vastaavasti kuin konedirektiivissäkin, myös EMC-direktiivi vaatii, että valmistaja laatii teknisen tiedoston, josta käy ilmi, miten EMC-suojaus on toteutettu. [36]

Metsäkoneiden EMC-standardi on SFS-EN ISO 14982. Siinä on määritelty millaisilla testeillä traktoreiden ja metsäkoneiden EMC-suojausta verifioidaan. Testeissä mitataan antennilla sähkökentän voimakkuutta koneen ulkopuolelta ja vastaavasti testataan, että kone ei häiriinny ulkoisesta antennilla tuotetusta sähkökentästä. [37]

ISO-14982 määrittää myös vaatimuksia elektronisille alikokoonpanoille. Niitä pitää testata erikseen, ja testeissä mitataan vastaavasti miten paljon ne säteilevät sekä miten ne kestävät ulkopuolista sähkökenttää häiriintymättä. Ohjaamon tapauksessa tällaiset alikokoonpanot ovat lähinnä ohjausjärjestelmän elektroniikkamoduulit. Niitä on Logsetin tapauksessa jo erikseen testattu ja todettu, että ne täyttävät kaikki vaatimukset. Kokonaista metsäkonetta on myös kerran testattu standardin mukaan, hyväksytysti.

Kokemuksesta voidaan todeta, että uusi ohjaamo, jossa on samat elektroniset



komponentit kuin nykyisessä, todennäköisesti täyttää kaikki direktiivien asettamat vaatimukset EMC-suojaukselle.

### 5.3.4 Tieliikenne

Metsäkone pitää rekisteröidä, jos sillä halutaan ajaa yleisillä teillä. Tällöin koneelta vaaditaan vielä, että se täyttää liikenneajoneuvojen vaatimukset, jotka koskevat esimerkiksi koneen ohjattavuutta ja valaistusta.

Metsäkonestandardi ISO 11850 mainitsee, että ohjauksen pitää olla ISO 5010:n mukainen, joka käytännössä tarkoittaa, että ohjauksen pitää olla riittävän kevyt-käyttöinen ja luotettava [38]. Tämä ei ole mikään ongelma, kun konetta ohjataan sähköohjatulla hydraulikalla. Sen sijaan direktiivi 75/321/ETY ja sen myöhemmät päivitykset vaativat, että liikennekelpoisessa traktorissa, jossa on tehostettu ohjaus, pitää olla varajärjestelmä, jolla konetta pystytään ohjaamaan, jos normaali voimanlähde vikaantuu [39]. Tämä oli aiemmin metsäkoneissa hoidettu ohjauspyörällä ja orbitrol-venttiilillä, joilla pystyttiin lihasvoimalla ohjaamaan konetta, myös ilman hydraulista tehostusta. Nykyään Logseteissa on käytössä sähköinen varajärjestelmä, jonka avulla konetta pystyy hätätilassa ohjaamaan samalla ohjausvivulla kuin normaalisti. Ohjaamon suunnittelu on tämän myötä helpottunut, kun ei enää tarvita ylimääräisiä hallintalaitteita, jotta tieliikenteen vaatimukset täytyisivät.

Ohjaamon laselta vaaditaan E-hyväksyntä, jotta kone olisi rekisteröitävissä. Tämä asettaa vaatimuksia muun muassa lasin läpinäkyvyydelle, joka ajosuuntaan sekä sivuille pitää olla vähintään 75 % [40, s. 73]. Lasien E-hyväksyntä on materiaaliominaisuus, eli lasivalmistaja voi laittaa lasiin E-merkinnän, jos käytetty materiaali on siihen käyttöön E-hyväksytty [41].

## 5.4 Vaatimukset Euroopan ulkopuolella

Euroopassa on selkeät vaatimukset tavaralajimenetelmän metsäkoneille. Käytetyt kansainväliset ISO-standardit ovat muuallakin maailmassa hyvä lähtökohta ja niitä seurataan yleisesti [42].

Kanada on kuitenkin maa, jolla on pitkä historia puunkorjuusta ja joka on kehittänyt omat standardit metsäkoneille. Siellä WCB G600-sarjan standardit esittävät yleisiä vaatimuksia metsä- ja maanrakennuskoneille. Ongelmana kuitenkin on, ettei pohjoismainen tavaralajimenetelmä ole vielä yleistynyt Kanadassa, minkä takia ei löydy selkeitä vaatimuksia juuri harvestereille. Kuormatraktoreita ja niiden vaatimuksia mainitaan, mutta ei harvestereita.

G600 vaatii kuormatraktoreilta ROPS-turvaohjaamon sekä joko puolet tai täydet ovet. Tämän lisäksi vaaditaan G604:n mukaista ikkunasuojaa takana ja sivuilla. G604-standardi viittaa kevyeen teräksiseen suojaristikoon, joka suojaa ikkunaukkoja [43]. G604:ssa mainitaan kuitenkin, että polykarbonaattilasi voi korvata teräskalterin, mikäli siihen ei ole porattu reikiä, lasin kinnitysreuna on vähintään

1" leveä ja lasin paksuus vähintään 3/8"(9,5 mm). Vielä mainitaan, että polykarbonaatin toisenlainen kiinnitys voidaan hyväksyä, mikäli SAE J1084:n vaatimukset täyttyvät. J1084 on puolestaan korvattu ISO 8084:lla, eli EU:ssa käytetty OPS. Tällä tulkinnalla sama lasitus kelpaisi sekä EU:ssa että Kanadassa. Joissakin Kanadan provinseista tämä on kuitenkin tulkittu eri tavalla [44] ja useimmat valmistajat pyrkivät täyttämään kanadalaisessa standardissa mainitut vaatimukset lasin kiinnitykselle, jos koneita myydään Kanadaan [41]. [45]

Pohjois-Amerikassa käytetyiltä kaato-kasauskoneilta G600 vaatii enemmän. Koneen nostettavassa ohjaamossa pitää olla G602:n mukainen runkorakenne, joka pystyy suojaamaan tukeilta ylhäältä ja sivulta. Standardi ei aseta tarkkaa voimaa, mitä kaikkien suojarakenteiden pitää kestää, vaan valmistajan pitää itse laskea annetulla kaavalla sen mukaan, miten suuria tukkeja tullaan koneella käsittelemään [46]. Ohjaamon katon pitää myös täyttää G608:n FOPS-vaatimukset, jotka ovat vastaavia kuin ISO 8083:n vaatimukset [47]. Ikkunasuojien pitää täyttää aiemmin mainittu G604 ja vielä vahvempi G603, joka on yleensä järeä teräskalteri [48]. Standardi mainitsee kuitenkin, että puolen tuuman polykarbonaatti on joskus hyväksytty teräskalterin sijaan, mikäli polykarbonaatin suojakyky todistetaan testeillä tai laskelmilla. [45]

G604 vaatii että ohjaamon lasit kestäisivät 4000 lb:n voiman, mikä on vastaava voima kuin mitä käytetään eurooppalaisessa OPS-testissä. G603-standardissa puolestaan ei mainita mitään voima-arvoa nykyään. 1990-luvun alussa ehdotettiin että standardissa vaadittaisiin 8000 lb:n voiman kesto, mikä on tuplasti OPS:iin verrattuna. Monet konevalmistajat seuraavat tätä yhä Kanadan malleissaan, ja tästä on syntynyt käsite, että laseille pitää kohdemaasta riippuen suorittaa joko OPS-testi tai "WCB-testi". [49]

## 5.5 Johtopäätökset

Euroopassa EU:n konedirektiivi asettaa yhteiset turvallisuusvaatimukset kaikille koneille EU:ssa. Yhteiset säännöt helpottavat kaupankäyntiä ja samalla myös suunnittelijan työtä, kun kaikissa maissa on samat vaatimukset. Kansainväliset standardit opastavat suunnittelijaa miten eri konetyypeissä täytetään konedirektiivin asettamat vaatimukset.

Standardeissa on asetettu minimivaatimuksia suurelle osalle metsäkoneen ominaisuuksista. Useimmat niistä täyttyvät lähes automaattisesti, kun suunnitellaan konetta niin, että se olisi käyttömukavuudeltaan mahdollisimman hyvä loppukäyttäjälle. Tärkeimmät ominaisuudet, jotka pitää suunnittelussa ottaa huomioon ja jotka eivät suoraan näy asiakkaalle, ovat ohjaamon lujuusominaisuudet ROPS, FOPS ja OPS. Nämä rajoittavat pitkälti millaiset ohjaamorakenteet ylipäätään ovat mahdollisia.

FOPS- ja OPS-testit ovat aina samanlaiset, koneen koosta riippumatta. ROPS-testi kuitenkin riippuu koneen painosta, minkä takia koko kone on otettava mukaan ohjaamosuunnitteluun jo aikaisessa vaiheessa. Ennen kuin aletaan suunnitella ohjaamon rakennetta tarkemmin pitää siis pohtia, minkä kokoisiin koneisiin



halutaan, että suunniteltava ohjaamo olisi mahdollista asentaa. Pitää harkita, käytetäänkö samaa ohjaamoa kaikissa koneissa ja riittääkö ohjaamon lujuus myös tulevaisuuden tarpeille.

Kanadassa on perinteisesti ollut kovempia vaatimuksia lasien lujuudelle kuin Euroopassa. Tämän takia on suunnittelussa myös harkittava, tehdäänkö ohjaamosta yksi malli, joka kelpaa kaikilla markkinoilla, vai tehdäänkö Kanadaa varten niin sanottu "WCB-malli", jossa lasit kestävät suurempia voimia.

## Luku 6

# Tekniset ominaisuudet

Tässä luvussa tarkastellaan ohjaamon rakenteen eri osa-alueita ja käydään läpi eri vaihtoehtoja ratkaista ne.

### 6.1 Lasit

Harvesteriohjaamolta vaaditaan mahdollisimman hyvä näkyvyys, jotta kuljettaja voi tehdä työnsä turvallisesti, tehokkaasti ja helposti. Ikkunaruudut muodostavat suuren osan ohjaamon pinnoista, joten lasien ominaisuudet pitää ottaa huomioon suunnittelussa jo aikaisessa vaiheessa.

Tässä luvussa tarkoitetaan lasi-sanalla läpinäkyvää pintaa, eikä välttämättä itse lasimateriaalia. Tiedonlähteenä seuraavissa luvuissa polykarbonaatin ominaisuuksista toimii haastattelu Aikolon Oy:n myynti-insinöörin Tuija Hahtosen kanssa 23.8.2012, jos ei muita lähteitä ole annettu.

#### 6.1.1 Lasien materiaali

OPS-standardi asettaa tarkasti määritettyjä vaatimuksia lasien lujuudelle. Sen lisäksi, että lasien pitää hätätilassa estää esineitä tunkeutumasta ohjaamoon halutaan myös, että lasit kestäisivät käyttöä ja normaaleja niihin tulevia iskuja vahingoittumatta, jotta niitä ei tarvitsisi vaihtaa kovin usein.

Lasimateriaalin vaihtoehtoja ovat käytännössä polykarbonaatti ja laminoitu turvalasi. Nykyisessä ohjaamossa ainoastaan etulasi on polykarbonaattia, muut ovat laminoitua lasia. Sekä lasi että polykarbonaatti voidaan saada kestäväksi vaaditut iskut, mutta materiaalien ominaisuudet eroavat kuitenkin toisistaan. Käytännössä on todettu, että polykarbonaatti on sitkeämpi ja kestävä iskuja paremmin, ilman että se menee rikki. Lasista tehty pinta voi suojata yhtä hyvin, mutta se säröytyy helposti iskuista. Monet asiakkaat ovatkin valittaneet, että lasit eivät kestä.

Toinen lasityyppi, jolla voisi olla haluttu kestävyys on Hammerglass. Tämä on polykarbonaattilasi, joka on pinnoitettu piioksidikalvolla. Kestävyydeltään ja



optiikaltaan se olisi erinomainen. Suurin puute on kuitenkin ettei sitä pysty tekemään kaarevana, mikä rajoittaa käyttöä harvesteriohjaamossa. [50]

Yrityksessä on päätetty, että uudessa ohjaamossa pitää olla kaikki ruudut polykarbonaattia, jotta ei olisi kesto-ongelmia. Toinen vahva syy valita polykarbonaatti on se, että sillä on vahva maine, johon asiakkaat luottavat.

Polykarbonaatin ominaisuuksia ovat hyvä iskunkestävyys ja muovattavuus. Pinta on kuitenkin pehmeä ja naarmuuntuu tosi helposti. Polykarbonaatti on myös herkkä kemikaaleille. Polykarbonaatin pintaa suojaamaan lisätään aina pinnoite, joka antaa kovan pinnan ja hyvän kemikaalisuojan.

### 6.1.2 Valmistustekniikka

Suomessa polykarbonaattilaseja toimittaa muun muassa Aikolon Oy. Polykarbonaatin raaka-aineentoimittajia on monta Euroopassa, mutta pinnoitus on niin vaativa prosessi, että sitä tekee vain harva toimija. Aikolonin tapauksessa valmiiksi pinnoitetut polykarbonaattilevyt tilataan saksalaiselta KRD:ltä, joka pinnoittaa polykarbonaatit KASI-pinnoitteella. Pinnoitetut levyt voidaan sitten Suomessa edullisesti koneistaa toivottuun muotoon. Muotoon leikkaus pitää nimenomaan tehdä koneistamalla, koska esimerkiksi vesileikkaus ei antaisi riittävän siistejä reunoja.

Polykarbonaattia voidaan sinänsä muokata helposti haluttuun muotoon, sekä kylmänä että lämpöisenä. Pinnoitteella ei kuitenkaan ole yhtä hyviä muovausominaisuuksia, minkä takia muovaukset tulisi tehdä ennen pinnoittamista. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kaarevan lasin tapauksessa koko lasi pitää tehdä pinnoittajan toimesta, sisältäen taivutus ja koneistus. Pinnoitettua lasia voidaan myös suurella säteellä taivuttaa kylmänä ilman että pinnoite rikkoutuu. Yleinen nyrkkisääntö on se, että pienin taivutussäde pinnoitettuna on lasin paksuus kertaa 150, eli 12 mm paksun lasin minimisäde on 1800 mm.

Voimakkaasti kaarevat lasit pitää tehdä muotilla. Kun polykarbonaattilevy laitetaan muotin päälle uuniin, se muovautuu muotin mukaan. Kaksoiskaarevat muodot vaativat yleensä kaksi muottia, uros- ja naarasmuotin, muuten se ei mukaudu oikeaan muotoon itsestään. Kahdella muotilla voidaan myös varmistaa, että seinämäpaksuus pysyy vakiona, jotta optiset ominaisuudet eivät häiriinny.

Suuntaa antava hinta on se, että yhdellä muotilla tehty kaareva lasi on kolme kertaa kalliimpi kuin ilman muottia tehty litteä lasi. Kahdella muotilla tehty kaksoiskaareva lasi on noin neljä kertaa kalliimpi kuin litteä lasi. Kaksoiskaareva lasi, jossa poikittainen kaarevuus on pieni verrattuna pääkaarevuuteen, voisi periaatteessa olla mahdollinen tehdä yhdellä muotilla.

Pinnoittaja KRD on äsken siirtynyt vanerimuoteista alumiinimuotteihin, minkä takia kaarevien lasien hinnat ovat nousseet. Toinen hintoja nostanut asia on siirtyminen kaksipuolisiin muotteihin, myös yksöiskaareville lasille. Lasin muoto vaikuttaa kuitenkin muotin monimutkaisuuteen ja sen kautta hintaan.

### 6.1.3 Optiikka

12 mm paksulla polykarbonaattilasilla ei yleensä ole mitään optisesti vääristäviä ominaisuuksia. Lasi valmistetaan aina tasapaksuiseksi, sekä yksöiskaarevana että kaksoiskaarevana. 15 mm lasilla on kuitenkin tunnetusti ollut joitakin ongelmia.

Jos katsotaan polykarbonaattia jyrkällä kulmalla, pientä aaltoilua materiaalissa voi näkyä. Sen takia kannattaisi suunnitella ohjaamon lasitusta siten, että kuljettajan katse kohtaa kaikki pinnat mahdollisimman pintojen normaalien suuntaisesti.

### 6.1.4 Lasien kiinnitys

Lasit voidaan kiinnittää liimaamalla tai pulteilla. Kiinnityksessä pitää ottaa huomioon, että lasin pitää päästä elämään, koska polykarbonaatilla ja teräksellä on eri lämpölaajenemiskertoimet. KASI-lasin laajenemiskerroin on  $65 \cdot 10^{-6}/K$  [51], teräksen vastaava on noin  $10 \cdot 10^{-6}/K$  [52, s. 408]. Polykarbonaatti ei myöskään ole yhtä jäykkä kuin oikea lasi. KASI-lasin kimmokerroin on 2,2 GPa [51], kun taas normaalin lasin kimmokerroin on luokkaa 70 GPa [53, liite B].

Liimaus on perinteisesti ollut haastava, koska pinnoitteen takia liima ei tartu lasiin. Sen vuoksi pitää liimauksen yhteydessä käyttää primeria, joka antaa liimalle tarttuvan pinnan. Kemikaalien yhteensopivuudessa on kuitenkin joskus ollut ongelmia, minkä takia liimaukset eivät aina ole onnistuneet. Toinen tapa valmistella lasipintaa liimausta varten on pinnoitteen poishiominen reunalta.

Valmiita suunnitteluohjeita lasien kiinnitykseen ei löydy, muuta kuin Kanadan WCB-vaatimukset, jotka mahdollisesti ovat ylimitoitettut eurooppalaiseen OPS-testiin. Parhaat suunnitteluohjeet ovat luultavasti nykyisten, toimivien ratkaisujen noudattaminen.

### 6.1.5 Melun hallinta

Laseilla on yleisesti huonot akustiset ominaisuudet. Nykyisen ohjaamon sivulasit, jotka on tehty oikeasta lasista, toimivat kuitenkin äänieristeinä hyvin. Tähän vaikuttaa lasimateriaalin jäykkyys, kyseisten ikkunaruutujen paksuus sekä niiden sisään laminoitu kalvo. Jotkut lasivalmistajat tarjoavat samalla tekniikalla toteutettuja oikeita äänieristyslaseja [54].

Siirtyminen polykarbonaattilaseihin tuo haasteita meluntorjuntaan, kun sekä materiaalin jäykkyys että paksuus pienenevät. Kaksoislasituksella ja äänieristyskalvolla lasien väliin saataisiin paras meluntorjunta aikaiseksi. Tämä olisi kuitenkin turhan monimutkainen ja kallis rakenne, kun kerran tiedetään kokemuksesta, että lujuuden kannalta 12 mm polykarbonaatti riittää. Sen lisäksi kaksoislasituksella voisi olla huonommat optiset ominaisuudet kuin yksittäisellä lasilla. [55, s. 121]

Kaareva lasi on järempi kuin litteä lasi ja käyttämällä kaarevia laseja voitaisiin vähentää lasien värähtelyä ja siten vähentää melua. Kaksoiskaareva pinta on kaikista järein, joten siihen pitäisi pyrkiä, jos kaksoiskaareva muoto muuten on

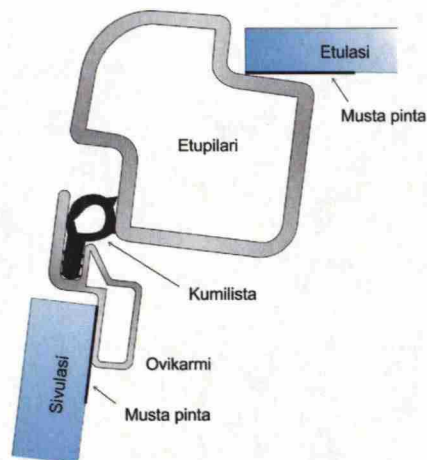


mahdollinen [55, s. 121]. Kaarevien lasien käyttö taitaa olla paras tapa torjua melua polykarbonaattilasien tapauksessa.

### 6.1.6 Etupilarit ja ovet

Nykyisessä harvesteriohjaamossa etupilarit on tehty taitetusta profiliputkesta. Etupilareiden poikkileikkaus näkyy kuvassa 6.1. Rakenne on yksinkertainen ja profiilin pyöristetty ulkoreuna antaa ohjaamolle tyylikkään pyöreän vaikutelman. Ovia kiertää toinen profiliputki, johon ovea tiivistävä kumilista on kiinnitetty. Koko etupilarirakenteen huono puoli on kuitenkin sen leveys. Vaikka etupilarin putki sinänsä on kapea, niin pilarin vieressä kulkeva ovireuna lisää katvealuetta ennestään. Etupilareiden uudelleensuunnittelussa pitäisi siis ottaa ovikin mukaan ja yrittää sijoittaa se niin, että se ei lisäisi katvealuetta.

Katvealueeseen vaikuttaa myös lasien reunoissa oleva musta primeripinta, jolla lasi saadaan kiinnittymään liimaan, ja joka peittää lasin alla olevan tiivistemassan. Musta pinta on nykyään turhan leveä ja ulottuu pitkälle liimattavan reunan ulkopuolelle. Jos vielä lasketaan mukaan aurinkosuojauksen reunateipit etu- ja sivulaseissa, katvealue kasvaa edelleen.

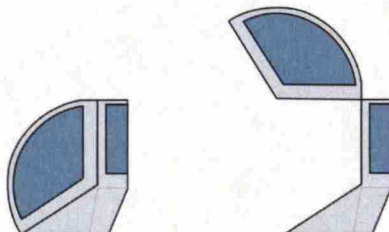


Kuva 6.1: Läpileikkaus nykyisen harvesteriohjaamon etupilarista

Etupilarin katvealue nykyisessä harvesteriohjaamossa on kaiken kaikkiaan noin 110 mm, mikä 110 cm etäisyydellä kuljettajasta silmäkorkeudella vastaa  $5,7^\circ$  näkökentästä. Itse profiliputken leveys on siitä vain noin 70 mm. Logsetin kuormatraktoriohjaamossa on takapilareihin käytetty neliöputkea ja lasit on listoilla pultattu putken päälle. Tässä tapauksessa katvealue on kuljettajan näkökulmasta vain noin 70 mm, mikä 115 cm etäisyydellä kuljettajasta vastaa  $3,5^\circ$  näkökentästä. Kuormatraktorissa tilanne on helpompi, koska siinä työsuunnan sivulasit eivät kuulu oviin.

Ideaalitapaus olisi se, että ohjaamossa ei olisi lainkaan ovia. Silloin sivulasitkin voisi kiinnittää suoraan etupilareihin ja pilarirakenne olisi kapea ja tukeva. Tämä vaatisi

koko ohjaamorakenteen uudelleenmiettimisen. Jos sivut eivät olisi avattavia, pitäisi ohjaamossa olla jokin toisenlainen sisäänkäynti. Kuvassa 6.2 näkyy yksi teoreettinen vaihtoehto, jossa tuulilasi ja sivulasit muodostavat yhtenäisen avattavan kuvun. Tämä olisi kuitenkin monelta osin epäkäytännöllinen ratkaisu, koska avattava osa olisi iso ja raskas, ja kylmällä kelillä kaikki lämpö karkaisi pois ohjaamoa avattaessa. Suurin ongelma olisi kuitenkin, miten saadaan oviosuus kiinnitettyä muuhun ohjaamoon, jotta se olisi osa kantavaa rakennetta kiinniolllessaan.



Kuva 6.2: Esimerkki siitä, miten ohjaamo ilman perinteisiä ovia voisi toimia

Etupilareiden ei tarvitsisi välttämättä olla putkimaisia. Monissa futuristisissa konekonsepteissa ohjaamot on varustettu läpinäkyvillä pilareilla. Esimerkkejä tästä ovat Volvon kaivurikonsepti SfinX ja Valtran traktorikonsepti ANTS (kuva 6.3). Niissä on ideana, että ohjaamon etupilarit ovat ristikkorakennetta, jotta niiden läpi voitaisiin nähdä, ja ne häittäisivät näkyvyyttä mahdollisimman vähän.



Kuva 6.3: Läpinäkyviä pilareita työkonsepteissa (kuva Volvo CE ja Valtra)

Tällaisissa konsepteissa ei kuitenkaan ole otettu huomioon, että käytännössä lasien kiinnittämiseksi tarvitaan jonkinlainen reuna lasin taakse. Tällainen reuna lisäisi mahdollisesti pilareiden katvealuetta ohjaamossa sen verran, että ristikkorakenteen hyöty voisi hävitä täysin. Läpinäkyvät pilarit eivät ole vielä tulleet tuotantokoneisiin.

Läpinäkyvät pilarit olisivat varmasti jotakin, joka herättäisi huomiota uudessa harvesteriohjaamossa, ja ne eivät välttämättä edes olisi mahdottomia toteuttaa. Pilari voisi esimerkiksi koostua kahdesta leikatusta levystä, joiden väliin hitsataan

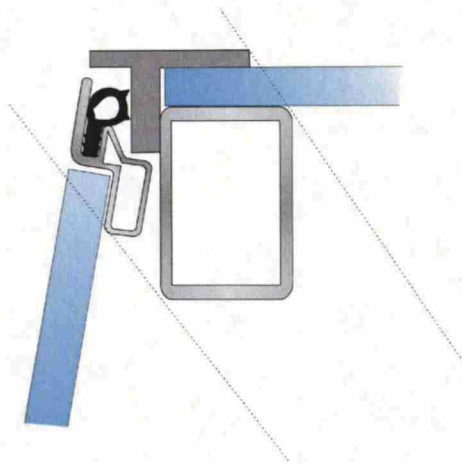


poikkituet ja laitetaan kaareva lasi. Lujuusteknillisesti siinä olisi vielä se hyöty, että materiaalivalinta olisi paljon vapaampi kuin käytettäessä valmiita profileja. Rakenne on kuitenkin väistämättä monimutkaisempi ja suurin ongelma olisi vielä se, miten luodaan lasille riittävät kiinnitysreunat ilman, että katvealueet kasvavat, jolloin rakenteen hyöty menetettäisiin. Lopuksi pitäisi myös ottaa huomioon, miten ovi saadaan mukaan rakenteeseen ilman, että sekin lisäisi katvetta.

Yksi vaihtoehto vähentää ovireunojen katvealuetta olisi ovien reunaprofiilien poisjättäminen. Maataloustraktoreissa tämä on ollut yleistä jo monta vuotta, että ovi koostuu pelkästä lasista, johon saranat ja lukot on kiinnitetty suoraan. Maataloustraktoreihin verrattuna [56] metsäkoneissa tilanne on kuitenkin vaikeampi, sillä metsäkoneiden OPS-vaatimukset vaativat tukevat kiinnitykset lasille. Sen lisäksi metsäkoneissa käytetty polykarbonaatti on paljon joustavampi kuin perinteinen lasi, mikä vaikeuttaa ovireunojen poisjättämistä. Jäykkyyttä saisi lisää muotoilemalla lasit kaksoiskaareviksi, mutta riittävän jäykkyyden saavuttaminen voisi todennäköisesti vaatia rajuja muotoja. Kaksoiskaareva ovilasi vaatisi vielä kalliin kaksi-  
puolisen muotin. Jos ovessa ei olisi reunaprofileja, ei myöskään olisi mahdollista taittaa ovilaseja kaareviksi kiinnityksen yhteydessä, mikä muuten olisi kustannustehokas tapa saada jäykkyyttä lisääviä kaarevia muotoja.

Nykyisin ovissa käytetty profiliputki ei ole kovin jäykkä. Jos oviin tulee polykarbonaattilasi, tarvittaisiin todennäköisesti vielä jäykemmät reunaprofiilit. Tämäkin on toinen syy, miksi etupilarien rakennetta joudutaan suunnittelemaan uusiksi.

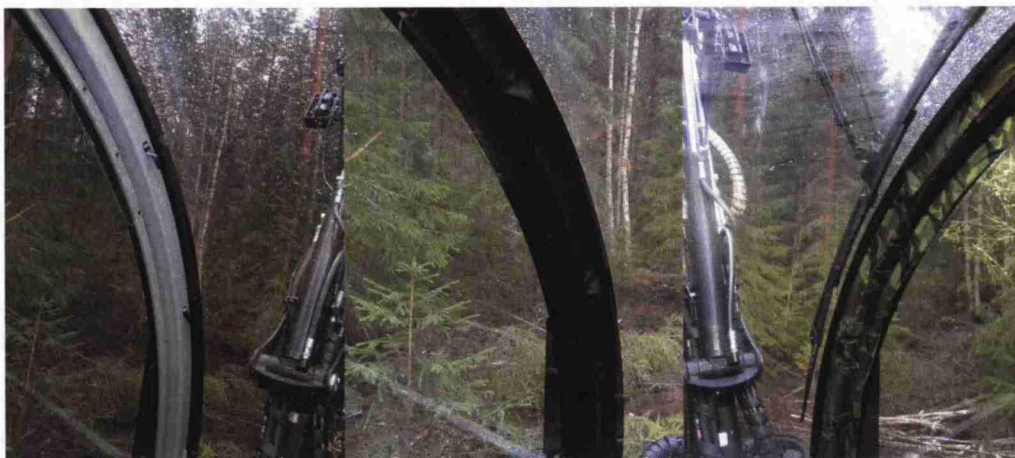
Yksi tapa saada ovireunan katvealue eliminoitua, olisi sen sijoittaminen etupilarin eteen, pilarin katveeseen. Kuvassa 6.4 näkyy yksi ehdotus tästä. Siinä pilarina on käytetty 60x40 mm suorakaideputki ja kuvassa näkyvä T-muotoinen lista koostuu kahdesta toisiinsa hitsatusta levystä. Kuvan rakenne olisi yksinkertainen valmistaa, ja suorakaideputken etu olisi halvan hinnan lisäksi, että sitä saa suuremmalla lujuudella kuin eksoottisemmat profiilit. Kyseinen ratkaisu ei kuitenkaan ratkaise, miten ovireunoihin saataisiin lisää jäykkyyttä.



Kuva 6.4: Esimerkki etupilarirakenteesta, jossa ovireuna ei lisää katvealuetta

Etupilareiden koon lisäksi koettuun katveeseen vaikuttaa pilareiden väri. Asiakkaat

ovat joskus peittäneet koneidensa pilareita tummemmalla värillä, joka on vähentänyt niiden häiritsevyyttä [57]. Vertaus eriväristen pilareiden välillä suoritettiin metsässä, maskeeraamalla harvesterin pilareita sisäpuolelta mustalla ja maastokuviollisella teipillä (kuva 6.5). Vaikka alkuperäinen kirkas harmaa voi tuntua turhan kirkkaalta, täysmusta oli puolestaan liian dominoivan tumma. Maastokuvilla oli edellytykset sulautua taustaan niin, että sitä ei huomaisi, mutta kirjava kuvio tuntui vähän häiritsevältä läheltä katsottuna. Tämän perusteella voidaan epäillä, että paras väritys pilareiden sisäpinalle todennäköisesti olisi jokin sopivan diskreetti väri, joka ei ole liian tumma eikä liian kirkas.



Kuva 6.5: Testi pilareiden väriytyksen vaikutuksesta. Vasemmalla alkuperäinen pilari, keskellä pilari on peitetty mustalla teipillä, ja oikealla pilari on peitetty maastokuviollisella teipillä.

### 6.1.7 Tuulilasinpyyhkijä

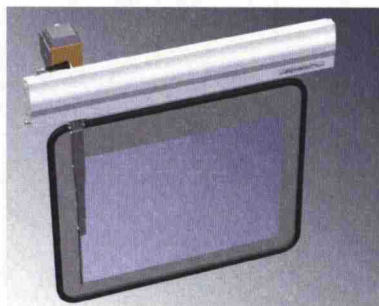
Nykyisessä harvesteriohjaamossa käytetään etulasissa ylhäältä kiinnitettyä suuntaispyyhkijää ja sivulaseissa yksivarsisia pyyhkijöitä, jotka on kiinnitetty lasien alatakanurkkaan. Sivulasien muoto sopii hyvin sivupyyhkijöiden toimintaan, mutta etulasin pyyhkijässä on pari ongelmaa. Ensinnäkin toimintaperiaatteestaan johtuen etulasin yläreunaan jää aina kaareva alue pyyhkimättä. Toinen ongelma on, että pyyhkijän pitkän varren takia mekanismiin syntyy helposti välyksiä. Välysten takia kulunut pyyhkijämekanismi ei enää pyyhi sivureunoihin asti ja niihin jäävät isot katvealueet. Pyyhkijän hyvä ominaisuus on kuitenkin, että se on halpa ja toimintavarma standardituote.

Huomioonotettava haaste etupyyhkijän valinnassa on etulasin kaarevuus. Koska etulasin kaarevuussäde on pienehkö, ei ole mahdollista käyttää pitkiä sulkia, sillä ne eivät taivu tarpeeksi, vaan joudutaan käyttämään lyhyiden sulkien yhdistelmiä. Pitkittäin liikkuva lineaaripyyhkijä poistaisi tämän ongelman.

Lineaarisesti liikkuva pyyhkijä olisi etulasiin optimaalinen. Sellaisella olisi mahdollista pyyhkiä melkein koko etulasi. Lineaariset lasinpyyhkijät ovat kuitenkin harvi-

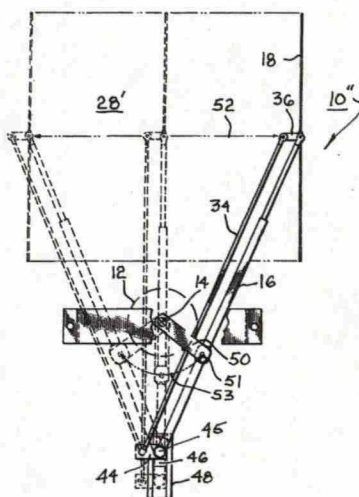


naisia. Automaailmassa niitä ei juurikaan näe. Lineaaristen pyyhkijöiden ongelmana on todennäköisesti tarvittavat lineaariset johteet, jotka vievät paljon tilaa ja voivat olla vaikeasti integroitavissa autojen muotoiluun. Liukujohteet ovat yleensä myös herkkiä likaantumiselle. Lineaarisia pyyhkijöitä käytetään kuitenkin merellä. Laivoihin on nimittäin ostettavissa valmiit lineaaripyyhkijämoduulit monelta eri valmistajalta (kuva 6.6). Tällainen valmis moduuli ei kuitenkaan välttämättä sopisi metsäkoneeseen.



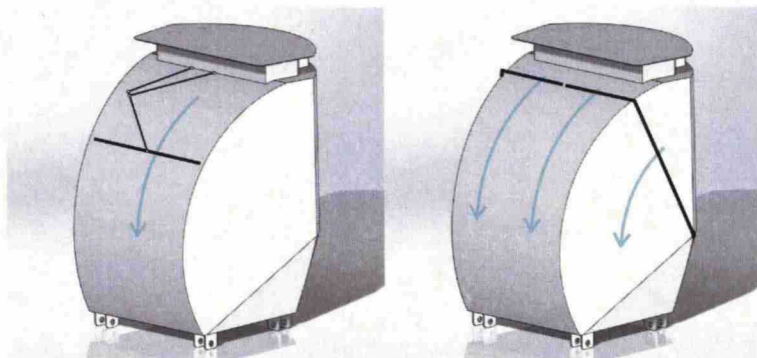
Kuva 6.6: Laivoissa käytetty lineaaripyyhkijä (kuva Speich)

Lineaarisesti liikkuva pyyhkijä voidaan myös saada aikaan ilman johteita käyttämällä erilaisia vipujärjestelmiä, kuten kuvasta 6.7 näkyy. Käytännössä tällaiset ovat useimmiten liian monimutkaisia ja vipumekanismit voivat olla herkkiä välyksille.



Kuva 6.7: Esimerkki vivustolla toimivasta lineaaripyyhkijästä [58]

Logsetin yksinkertaisen geometrinen muotoilu helpottaa pyyhkijämekanismin uudelleenmiettimistä. Kuvassa 6.8 on esitetty kaksi ideaa, joilla olisi teoriassa mahdollista saada etulasin pyyhkijä peittämään paremmin koko etulasia. Toinen idea on se, että pyyhkijämekanismi muistuttaisi harvesterin liikeratanosturia, jossa mekaniikan geometrialla saadaan lineaarisesti liikkuva varren pää. Toisessa ideassa



Kuva 6.8: Kaksi ideaa etulasin pyyhkijän toteutukselle. Vasemmassa kuvassa on lineaarimekanismi, joka toimii samalla periaatteella kuin harvesterin liikeratanosturi. Oikeassa kuvassa sivupyyhkijöiden varret ohjaavat etulasin pyyhkijöitä.

hyödynnetään etulasin lieriömäisyyttä ja ohjataan etupyyhkijöitä sivupyyhkijöiden varsilla. Molempien ideoiden hyvä puoli on, että niissä olisi mahdollista käyttää tavallisia pyyhkijämoottoreita, eikä tarvittaisi lineaarijohteita. Ideoiden toteuttamisessa käytännössä olisi kuitenkin monta haastetta.

## 6.2 Auringonsuojaus

Ohjaamon suurten lasipintojen takia kuljettaja on erittäin altis auringon säteilylle. Ilmastoinnilla voidaan pitää ohjaamoilman lämpötila sopivan viileänä, mutta auringon säteily lämmittää kuitenkin kuljettajan ihoa suoraan. Jos yritetään kompensoida tätä ilmastoinnin kylmällä ilmalla, saadaan tilanne, jossa kuljettaja hikoilee ja palelee samaan aikaan. Tämän takia pitäisi jotenkin rajoittaa säteilyn pääsyä ohjaamoon. Suoja ei kuitenkaan saa olla kiinteä, sillä vahva aurinkosuojaus heikentäisi näkyvyyttä silloin, kun aurinko ei paista.

### 6.2.1 Ongelmia

Metsäkoneissa on perinteisesti käytetty aurinkoverhoja. Nämä koostuvat läpinäkyvästä kullankeltaisesta muovikalvosta, joka vedetään esiin, kun lisäsuojasta auringonsäteilyltä tarvitaan. Verhot ovat toimivuudeltaan yksinkertaisia, mutta niissä on jonkin verran ongelmia. Ensinnäkin on haastavaa saada ne seuraamaan kaarevia muotoja. Tämä on nykyisen harvesteriohjaamon etu- ja takalaseissa ratkaistu poikittaisilla tangoilla, joiden kautta verhot menevät (kuva 6.9). Tangot kuitenkin haittaavat näkyvyyttä. Logsetin kuormatraktoreiden takalaseissa sama asia on ratkaistu kaarevilla läpinäkyvillä muovilevyillä, jotka kulkevat pilareita pitkin ja ohjaavat verhoa kaarevaan muotoon.

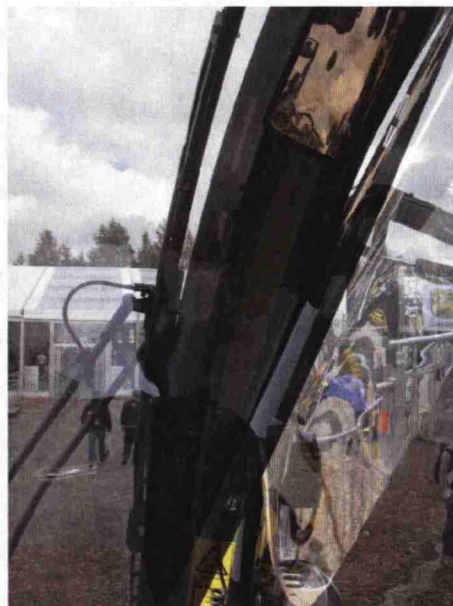
Toinen ongelma aurinkoverhoissa on se, että niitä ei saa menemään ihan reunoihin asti, joten reunoihin pitää liimata kiinteät aurinkosuojaiteipit, jotka taas haittaavat





Kuva 6.9: Harvesteri, jonka takalasissa on aurinkoverho (kuva Logset)

näkyvyyttä silloin, kun aurinkoverhoja ei käytetä. Kolmas ongelma on heijastukset ja vääristymät, jotka syntyvät, kun aurinkoverho roikkuu löysästi lasin edessä (kuva 6.10).



Kuva 6.10: Esimerkki vääristymistä, jotka löysät aurinkoverhot aiheuttavat, kuva otettu John Deeren ohjaamosta

### 6.2.2 Sähköisesti tummennettavat lasit

Vaihtoehto aurinkoverhoille olisi sähköisesti tummennettavat lasit. Tällaiset tekniikat ovat jo olemassa, vaikka ne eivät ole vielä yleistyneet. Eri tekniikoita ovat sähkökromaattiset aineet, PDLC ja SPD.

Paras tekniikka lasien sähköiseen tummentamiseen olisi ehkä sähkökromaattisuus. Siinä lasin valonläpäisevyyttä muutetaan pinnoitteen sisällä olevassa materiaalissa tapahtuvilla hapetus-pelkistys-reaktioilla. Jännitteen tuominen sähkökromaattiseen materiaaliin saa pinnoitteessa olevat aineet luovuttamaan tai ottamaan vastaan elektroneja ja samalla materiaalin optiset ominaisuudet muuttuvat. Pinnoite koostuu kahdesta läpinäkyvästä ja johtavasta pinnasta, joiden välissä on sähkökromaattinen aine (usein  $\text{WO}_3$  tai  $\text{V}_2\text{O}_5$ ), ionijohde ja ionivarasto (kuva 6.11). [59]



Kuva 6.11: Sähkökromaattisen lasin rakenne [59]

Sähkökromaattisilla materiaaleilla on monta etua. Ensinnäkin tarvittava jännite on pieni, 1-5 V, eivätkä ne tarvitse jännitettä jatkuvasti, vaan ne pysyvät tilassaan pidempiäkin aikoja ja niiden valonläpäisevyys on jatkuvasti säädettävissä. Sähkökromaattisia materiaaleja on tähän mennessä enimmäkseen käytetty autojen peileissä ja jonkin verran autojen lasikatoissa [60, s. 12]. Sähkökromaattisen pinnan muutosnopeus voi olla hitaahko ja muutosnopeus riippuu pitkälti pinta-alasta [61, s. 7]. Hidas muutosnopeus ei ohjaamolasien tummentamisessa haittaisi, sillä muutos tehtäisiin kuitenkin enintään pari kertaa päivässä. Muutosnopeus on vielä hitaampi, kun lämpötila on alhainen, mutta tämä ei myöskään haittaisi, sillä aurinkosuojaa tarvitaan lähinnä lämpimällä säällä.

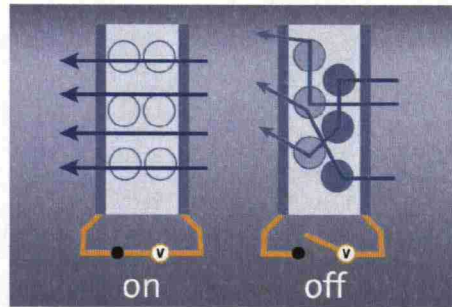
Metsäkoneen tapauksessa, kun itse lasit tehdään räätälöidysti ja lasien materiaali on turvallisuus- ja käyttövaatimusten takia määritelty, jälkeensä kiinnitettävä kalvo olisi helpoin ratkaisu. Sähkökromaattisia kalvoja on kehitteillä, mutta kaupallisesti edullisia sellaisia ei vielä löydy.

Yleinen tekniikka säätää lasin ominaisuuksia sähköisesti on PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal), joka muistuttaa perinteistä nestekidetekniikkaa. Kahden sähköä johtavan pinnan välissä on nestekiteitä, jotka normaalitilassa ovat epäjärjestyksessä eivätkä päästä valoa suoraan läpi. Kun pintoihin tuodaan jännitettä, nestekiteet järjestäytyvät ja valonsäteet pääsevät läpi (kuva 6.12) [62]. Tämä tekniikka on aika yleinen jo tänä päivänä ja valmistajia löytyy paljon. Toinen hyvä



puoli on, että nestekidepinnoitus on ostettavissa erikseen ohuina itsekiinnittyvinä kalvoina, jotka voitaisiin helposti kiinnittää jälkikäteen mihin tahansa lasipintaan. Kalvot ovat alle millimetrin paksuisia, taivutettavia ja lämmittämällä myös sovitettavissa kaksoiskaareviin pintoihin.

Kalvojen hinta ei myöskään ole ylitsepääsemätön, esim. noin 200-400 € per neliometri [63][64].

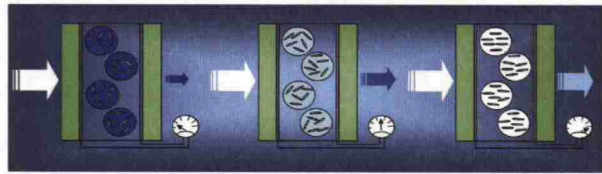


Kuva 6.12: PDLC-pintojen toimintaperiaate (kuva Mediavision)

PDLC ei välttämättä kuitenkaan sovi ohjaamoon tulevan valon rajoittamiseen, sillä pinnoitus ei vaikuta kovin paljon läpimenevän valon määrään vaan lähinnä pinnan läpinäkyvyyteen. Kun pintaan ei tuoda jännitettä, pinnan läpi ei näe ja se on maidon värinen. Kun jännite kytketään päälle, on pinta lähes täysin läpinäkyvä. Valonläpäisevyyden muutos ei ole perinteisesti ollut kovin suuri [65, s. 53]. Näiden takia PDLC-laseja käytetään lähinnä sellaisissa paikoissa, missä halutaan vain rajoittaa näkyvyyttä, eikä valoisuutta. Se, että pinta on normaalitilassa läpinäkymätön, on myös turvallisuusriski työkonessa, koska kuljettajan näkyvyys häviää heti, jos ikkunoiden sähkösaantiin tulee häiriö. PDLC:n vaatima jännite on myös korkeahko, esim. 75 V [66]. Muuten PDLC:llä olisi hyvä sykliluotettavuus ja lämpötilankesto sekä korkea muutosnopeus.

Tekniikka, jota jo käytetään ajoneuvoteollisuudessa, on Suspended Particle Device (SPD). Tämä muistuttaa toimintaperiaatteeltaan PDLC:tä, eli kahden kalvon välissä on epäjärjestyksessä partikkeleita, jotka järjestäytyvät ulkopuolisen sähkökentän vaikutuksesta, jolloin ne läpäisevät valoa (kuva 6.13). Käytetyt aineet ovat kuitenkin eri kuin PDLC:ssä, joten ominaisuudet ovat myös erilaiset. SPD:ssä käytetään mikroskooppisia neulamaisia partikkeleita (esimerkiksi polyjodidia) orgaanisessa nesteessä tai filmissä [60, s. 11]. Verrattuna nestekidetekniikkaan läpinäkyvyys on parempi, kuva ei sumene samalla tavalla, kun valon läpipääsyä rajoitetaan. Edelläkävijä SPD-tekniikassa on amerikkalainen Research Frontiers Inc., joka lisensoi tätä tekniikkaa eri lasinvalmistajille.

SPD voisi sinänsä olla hyvä vaihtoehto ohjaamon lasien tummentamiseen, koska sitä käytetään jo ajoneuvoteollisuudessa ja optiset ominaisuudet ovat hyvät. Sähkökromaattisuuden edustajat väittävät kuitenkin, että SPD ei toimi yhtä tehokkaasti kuin sähkökromaattiset vaihtoehdot ja että SPD:n orgaaniset materiaalit eivät ole yhtä pitkäkestoisia [67]. Tällä hetkellä Research Frontiersin SPD-tekniikka on kuitenkin saatavissa vain laminoituihin lasihin, laminoituna lasien väliin ja la-



Kuva 6.13: SPD-tekniikan toimintaperiaate (kuva Pilkington)

sin hinta on todella korkea, suuruusluokkaa 1000 € per neliömetri [68]. Tekniikan tarvitseman korkean jännitteen takia sitä ei haluta myydä erillisinä kalvoina, vaan sitä pitää laminoida lasin sisään [69]. Suurin este SPD:n käytölle on kuitenkin heikko valonläpäisy läpinäkyvässä tilassa. Läpinäkyvyys on enimmillään 50 %, sen takia sitä ei ole autoissa pystytty käyttämään muualla kuin takalaseissa ja kattolaseissa [69]. E-hyväksyntähän vaatii 70 %:n läpäisevyyttä ajosuuntaan ja sivuille.

Vielä toinen tekniikka valon läpäisevyyden säätämiseksi voi tulevaisuudessa olla mikroverhot (micro blinds). Tämä tekniikka on vasta kehitteillä, mutta se voi tulevaisuudessa tarjota kustannustehokkaan tavan säätää lasien ominaisuuksia. Ideana siinä on, että mikroskooppiset käärityt metalliliuskat peittävät lasipinnan. Normaalityllassa liuskat ovat käärittyinä ja estävät valoa vain vähän. Kun pintaan kytketään sähkökenttä, metalliliuskat rullautuvat ulos ja peittävät suuremman tilan estäen valon pääsyä. [70]

Lasin sähköinen tummennus vaikuttaa siis olevan jossakin määrin vielä lapsenkengissään ja kaikkia tekniikoita ei ole vielä kehitetty kaupallisesti edullisiksi.

### 6.2.3 Parannetut aurinkoverhot

Koska sopivia tekniikoita lasin sähköiseen tummentamiseen ei vielä löydy, joudutaan käyttämään aurinkoverhoja jatkossakin. Niiden toiminnallisuutta pystytään kuitenkin parantamaan.

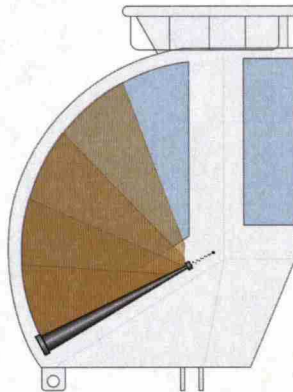
Ensimmäinen asia, joka vaikuttaa verhojen toimivuuteen, on ikkunoiden muoto. Jos muoto on tasaleveä tai tasaisesti kapeneva, voidaan tehdä rullaverho, joka peittää koko ikkunan reunoihin asti, kun se vedetään esiin ikkunan laidasta. Mitä paremmin verhot menevät reunoihin asti, sitä vähemmän kiinteää aurinkosuojaiteippausta tarvitaan. Jos ruudun reunat ovat samansuuntaiset, olisi mahdollista asentaa kiskoja, joita pitkin verhot kulkevat.

Yksi tapa tehdä tällaisia kiskoja olisi käyttää G-muotoista muoviprofiliputkea, jonka sisällä kalvon päälle kiinnitetty paksumpi reunus pysyy. Profilikisko olisi piilotettavissa pilareihin, jolloin se ei lisäisi katvetta. Kiskossa voisi myös kulkea naru, jolla verho vedetään alas. Tällainen ratkaisu olisi vielä helposti moottorisoitavissa. Ratkaisun haittapuolena on se, että paksut reunukset tekisivät rullasta paljon paksumman kuin nyt. Rullan läpimitta ei kuitenkaan olisi ylitysepääsemätön, esimerkiksi noin 10 cm.

Ympyräsegmentinmuotoiset sivulasit ovat siinä mielessä hankalat, että niitä ei



pysty peittämään täysin tavallisilla suoraan liikkuvilla verhoilla. Jos ne sen sijaan toimisivat viuhkan tapaisesti, ja vetäytyisivät esiin ympyränkaarta pitkin, koko pinta olisi peitettävissä. Tämä vaatii kuitenkin, että verhon rulla ei olisi lieriömäinen, vaan kartionmuotoinen (kuva 6.14). Tämä olisi vielä mahdollista yhdistää äsken mainittujen kiskojen kanssa siten, että ympyräkaarten ulkoreunaa pitkin kulkisi kisko, joka johdattaa verhoa oikeaan muotoon. Kiskon vaatima paksumpi reunus tekisi myös sen, että verho itsestään pyrkisi rullautumaan kartiomaisesti, mikäli reunus on vain verhon ulkoreunassa.



Kuva 6.14: Havainnollistava kuva, kuinka sivulasien aurinkoverhot voisivat toimia kartiomaisella rullalla

Näillä ratkaisuilla saataisiin verhot peittämään lasit reunoihin asti sekä seuraamaan kaarevia muotoja. Ongelma, joka jää jäljelle, on verhojen taipumus roikkua ja värähdellä. Tämä olisi ratkaistavissa ilmanpaineen avulla. Jos aurinkosuojakalvon molemmille puolille pystyttäisiin luomaan paine-ero, alipaine imisi kalvon tiiviisti ruutua vasten. Koska ohjaamon raitisilmapuhallin jatkuvasti luo ohjaamoon ylipainetta, tämä olisi periaatteessa hyödynnettävissä, jos verhon toiselle puolelle saataisiin normaali atmosfäärinen paine, esimerkiksi lasiin tehtävien pienten reikien läpi.

Verhon pinta-ala on niin suuri, että pienenkin paine-eron voima riittäisi teoriassa yksinkin pitämään verhon paikallaan kaarevassa muodossa, mutta käytännössä olisi todennäköisesti vaikeaa saada reunoja riittävän tiiviiksi tämän saavuttamiseksi. Sen lisäksi, jos ainoastaan alipaine pitäisi kaarevat verhot muodossaan, niitä pitäisi käsin asetella siihen muotoon aluksi, ennen kuin paine-ero voi alkaa tehota.

## 6.3 Lujuus

ROPS-standardi asettaa tiukat vaatimukset ohjaamon lujuudelle. Nykyisen Logset 10H -harvesterin paino on 22 t, mutta tulevaisuudessa on hyvin mahdollista, että konekoot kasvavat, minkä takia varaudutaan suunnittelemalla uutta harvesteriohjaamoa kestäämään 30 tonnisen koneen ROPS-testin.

Yhtälöistä (5.1) - (5.4) saadaan ROPS-testin raja-arvot, kun niihin sijoittaa  $M = 30\,000\text{ kg}$ :

$$F_{\text{sivu}} \approx 225\text{ kN} \quad (6.1)$$

$$U_{\text{sivu}} \approx 49,4\text{ kJ} \quad (6.2)$$

$$F_{\text{pysty}} = 600\text{ kN} \quad (6.3)$$

$$F_{\text{pituus}} \approx 180\text{ kN} \quad (6.4)$$

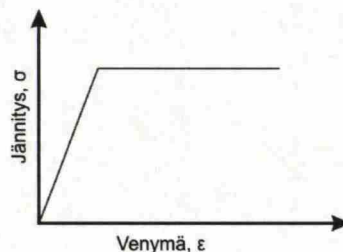
Ennen kuin ohjaamo viedään ROPS-testiin, kannattaa tietokoneohjelmalla tarkistaa ohjaamon lujuutta tarkasti FEM-analyysillä. Tämä edellyttää kuitenkin, että ohjaamon suunnittelu on jo edennyt detaljisuunnittelun tasolle. Ennen kuin siirtyy detaljisuunnitteluun, pitää päättää ohjaamorakenteen päämuoto, ja siihen vaikuttaa puolestaan tarvittu lujuusominaisuudet.

Ohjaamon lujuuden pitää myös täyttää FOPS- ja OPS-vaatimukset, mutta koska ne ovat samat kuin mitä nykyinen ohjaamo jo täyttää, niiden testien läpäiseminen ei luultavasti ole yhtä vaikeaa kuin ROPS-testi.

### 6.3.1 Teoriaa

Ohjaamon lujuustarkastelu on vaikea, koska ROPS-testissä esiintyy plastisia muodonmuutoksia. Teräksen plastinen käyttäytyminen on epälineaarinen, minkä takia analyysi vaikeutuu entisestään. Tietokonelaskennassa epälineaarinen käyttäytyminen vaikeuttaa numeerista analyysiä pidentyneen laskuajan ja suurempien tulostiedostojen takia. Kaikki FEM-ohjelmistot tai CAD-ohjelmien FEM-toiminnot eivät edes pysty käsittelemään plastisia muodonmuutoksia.

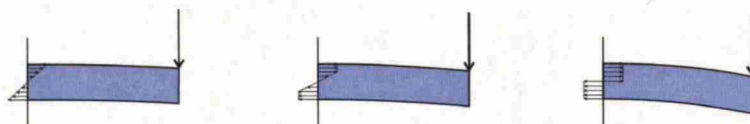
Alustavaan suunnitteluun voi käyttää yksinkertaistettua laskumenetelmää hyödyntämällä niin sanottuja plastisia saranointeja (en. plastical hinges), mikä mahdollistaa analyyttisiä laskelmia. Menetelmän perusidea on oletus, että kun materiaali ylittää myötölujuutensa, se alkaa myötää vakiojännityksellä täysin plastisesti (kuva 6.15).



Kuva 6.15: Materiaalin ideaalinen kimmo-plastinen käyttäytyminen [71]



Palkin tapauksessa, kun palkki taipuu, myötölujuus ylittyy aluksi palkin reunalla. Jos oletetaan materiaalin käyttäytyvän edellä mainitun oletuksen mukaan, jännitys palkin reunalla pysyy vakiona samalla, kun jännitykset palkin sisällä jatkavat kasvamistaan. Viimeinen vaihe on se, kun myötölujuuden jännitys vallitsee palkin koko poikkileikkauksessa, toisessa puoliskossa vetona ja toisessa puristuksena (kuva 6.16).



Kuva 6.16: Plastisen momentin muodostuminen [72]

Plastisten saranoiden teoriassa yksinkertaistetaan myötävän palkin käyttäytymistä sillä tavalla, että oletetaan sen käyttäytyvän jäykästi ja että se taipuu sen pisteen ympärillä, missä taivutusmomentti on suurimmillaan. Tätä pistettä kutsutaan plastiseksi saranaksi, ja siinä vaikuttaa myötölujuuden aiheuttama momentti, joka vastustaa taivuntaa. [71]

Tällä teorialla voidaan ottaa huomioon, että rakenne käytännössä kestää enemmän, kuin jos se vain mitoitettaisiin myötörajan mukaan. Sellaisissa rakenteissa, jotka ovat sinänsä jo hyvin jäykät, kuten I-palkeissa ja neliöputkissa, teorian lisäämä lujuus on kuitenkin aika pieni, sillä niissä suuri osa poikkipinta-alasta kantaa jo suuren jännityksen elastisella alueella ja sisäosan jännityksen kasvu myötöä jälkeen ei lisää lujuutta kovin suuressa määrin. [72]

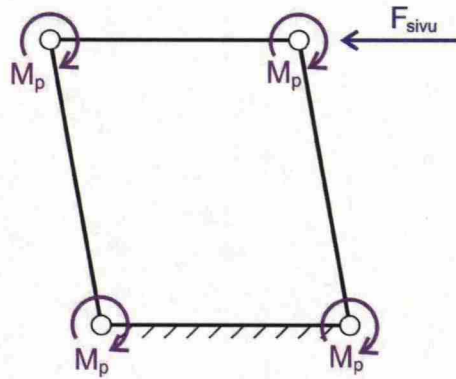
Plastisella teorialla voidaan tehdä erittäin karkea malli ohjaamon käyttäytymisestä ROPS-testissä.

### 6.3.2 Suuntaa antava mitoitus

Ohjaamosta tehtiin yksinkertaistettu malli, jossa jäykkä lattia ja jäykkä katto on yhdistetty ontoilla pystypilareilla. Kun ohjaamo kuormitetaan sivusta, syntyy pilareiden päihin plastiset saranat, joiden momentti vastustaa kuormitusta (kuva 6.17). Oikeissa testeissä on todettu ROPS-rakenteiden käyttäytyvän tämänkaltaisesti [73].

Malli on todennäköisesti heikompi kuin oikea ohjaamo, sillä todellisuudessa ohjaamon jäykkyyteen vaikuttavat pystypilareiden lisäksi myös kaikki seinämät ja mahdolliset lasit. Sen lisäksi teräs on myötölujuuttuva materiaali, eli sisäiset jännitykset jatkavat kasvamistaan vielä myötörajan jälkeen, joten todellinen palkki on todennäköisesti jäykempi kuin plastisten saranoiden teorian palkki.

Matemaattinen malli syötettiin SMATH Studio 0.95-ohjelmaan, jossa oli helppoa muokata tietoja ja syöttää siihen uusia numeroarvoja. Malli laskee etu- ja takapilareiden plastiset momentit ja vielä mitä sivuttaiskuormitusta se vastaa. Jos ohjaamossa on neljä pilaria, ohjaamoa tukee 8 plastista momenttia, yksi jokaisen



Kuva 6.17: Ohjaamon lujuuden yksinkertaistetun mallin periaate

pilarin päässä. Aluksi syötettiin lukuarvoja nykyisestä ohjaamosta, jolloin tulos oli, että ohjaamo ei ihan kestäisi 22 tonnin ROPS-vaatimuksia, mikä on ymmärrettävää, ottaen huomioon mallin puutteet. Sen lisäksi realististen lukuarvojen määrittäminen on vaikeaa, koska oikean ohjaamon rakenteissa ei ole neliönmuotoisia pilareita. Tulokset olivat kuitenkin oikeaa suuruusluokkaa, mikä antaa mallille jonkin verran luotettavuutta.

Malli laskee ohjaamon muodonmuutoksen sillä yksinkertaistuksella, että kaikki energian absorbointi tapahtuu plastisella osuudella, jossa energia = momentti · kulma-muutos. Kulmamuu-toksen perusteella voidaan sitten laskea kuinka suuren momentin ylhäältä tuleva pystykuormitus ROPS-testin toisessa vaiheessa aiheuttaa, ja vertaamalla sitä plastisten momenttien summaan voidaan vetää johtopäätöksiä, kuinka hyvin ohjaamo kestäisi pystykuormitusta. Lopuksi lasketaan miten ohjaamo kestäisi pitkittäiskuormitusta, mikä lasketaan samalla periaatteella kuin sivuttaiskuormituksen tapauksessa.

Samanlainen malli tehtiin myös toisenlaiselle ohjaamorakenteelle, jossa edessä ja sivuissa on kapeat pilarit ja keskellä takana on leveämpi pilari.

Esimerkkilaskelmat löytyvät liitteestä B. Voidaan todeta, että kyseinen malli on erittäin karkea ja jättää monet ilmiöt huomioimatta. Se voi kuitenkin toimia käteväenä apuna, kun harkitaan eri suunnitteluvaihtoehtoja ja halutaan tietää suuntaa antavia arvoja tarvittavasta lujuudesta.

Mallista nähdään, että ainevahvuuksia kasvattamalla ja teräksen lujuuksia nostamalla voidaan nostaa ohjaamon ROPS-kestävyyttä uuteen korkeampaan tasoon ilman, että ohjaamon rakenteista tulee turhan järeän kokoisia. Mallista nähdään myös, että sivuttaiskuormitus on kriittisin vaihe, koska mallin mukaan pystysuuntaiset ja pitkittäissuuntaiset vaatimukset täyttyvät automaattisesti, kun ohjaamo kerran täyttää sivuttaiskuormituksen vaatimukset.

Malli ei ota sitä huomioon, että oikeassa ROPS-testissä ohjaamon katto voi alkaa kiertyä, jos etupilareiden jäykkyys on paljon pienempi kuin takapilareiden. Varsinkin jos malliin lisätään viides pilari ohjaamon taakse, ohjaamon muoto tuskin vääristyy ihan kuvan 6.17 mukaisesti enää.



6.3.3 Materiaalivalinta

Nykyiseen ohjaamoon ei ole käytetty järin lujia teräksiä. Etupilareiden myötölujuus on 275 MPa ja muiden rakenneosien myötölujuus on 355 MPa. Tätä voidaan verrata metsäkoneiden runkoihin, jotka yleensä tehdään teräksestä, jonka myötölujuus on 650 MPa. Syyt materiaalivalintoihin ovat todennäköisesti olleet etupilareiden profiilin saatavuus sekä se, että vähemmän lujalla teräksellä on parempi muovattavuus. Samalla, kun myötölujuus kasvaa, kasvaa myös pienin sallittu taivutussäde, mikä hankaloittaa osien suunnittelua ja mahtumista.

Etupilareihin käytetyn profiilin saa nykyisin myös lujuuksilla 355 MPa ja 420 MPa [74]. Mikäli profiliputken sijaan käytettäisiin normaalia neliöputkea, valinnanvara on vielä suurempi.

Paksuus mm	2 - 2.5	(2.5) - 3	(3) - 4	(4) - 5	(5) - 6	(6) - 7	(7) - 8	(8) - 10	(10) - 12	(12) - 14	(14) - 15
Pienin mahdollinen sisäpuolinen taivutussäde mm:											
Ruukki Laser 250 C	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	5.5	7.0	8.5	10.0	11.5
Ruukki Laser 355 MC	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Ruukki Laser 420 MC	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	5.5	6.5	8.0	9.5	11.0	–

Kuva 6.18: Ruukki Laser -terästen pienimmät sallitut taivutussäteet 90° taivutuksessa [75]

Paksuus (mm):										
	≤ 2.5	(2.5) - 3	(3) - 4	(4) - 5	(5) - 6	(6) - 7	(7) - 8	(8) - 10	(10) - 12	
Pienin sallittu sisäpuolinen taivutussäde mm:										
Optim 500 MC	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	7	8	10	12	
Optim 550 MC	2.0	2.5	3.5	4.5	5.5	8	9	11		
Optim 600 MC	2.5	2.5	3.5	5.0	7.0	9	10	12		
Optim 650 MC	2.5	3.0	4.0	6.0	8.0	10	12	14		
Optim 700 MC		3.5	5.0	6.0	8.0	12	14	16		
Optim 700 MC Plus					6.0	7	8	10	18	

Kuva 6.19: Ruukki Optim MC -terästen pienimmät sallitut taivutussäteet 90° taivutuksessa [75]

Kuvat 6.18 ja 6.19 esittävät eri teräslaatuojen pienimmät taivutussäteet. Jos verrataan 3 mm paksuista Laser 355 MC ja Optim 650 MC -teräksiä nähdään, että heikomman teräksen tapauksessa ei käytännössä tarvitse ottaa taivutussädettä huomioon, lujemman laadun tapauksessa säde on suurempi, mutta ei ylitsepääsemättömän suuri. Ohjaamon rakennetta suunniteltaessa pitää alusta asti ottaa huomioon, mitä materiaaleja valitaan ja mitä ominaisuuksia ja rajoituksia niillä on. Materiaalivalintaan vaikuttaa myös se, että pintakäsittelyn takia kannattaisi pyrkiä siihen, että ulkopintojen seinämäpaksuudet ovat mahdollisimman samat.

## 6.4 Äänieristys

Ohjaamon hiljaisuus on yksi tärkeimmistä ohjaamon ominaisuuksista. Meluisa työympäristö on kuljettajalle haitallinen ja vaikuttaa suuresti kuljettajan viihtyvyyteen, vireystilaan sekä keskittymiskykyyn. Nykyinen ohjaamo on saanut jonkin verran valituksia meluisuudesta, joten tähän pitäisi kiinnittää erityistä huomiota uutta ohjaamoa suunniteltaessa.

Standardi ISO 11688-1 antaa ohjeita hiljaisten koneiden systemaattisesta suunnittelusta. Siinä jaetaan suunnittelu neljään eri vaiheeseen. Ensin on tehtävän selvittäminen eli vaatimusten asettaminen. Seuraavaksi tulee luonnossuunnittelu, jossa tehdään pääpiirteiset ratkaisut, yleensä vastaaviin koneisiin vertaamalla, ja kolmannessa vaiheessa, yksityiskohtaisessa suunnittelussa, tehdään tarkat suunnitelmat ja komponenttivalinnat tavoitteiden saavuttamiseksi. Neljäs vaihe on prototyyppi-testaus, jossa prototyyppistä tehdään mittauksia, joista voidaan arvioida, toimiiko äänieristys halutulla tavalla vai ilmenikö sellaisia ilmiöitä, joita ei osattu arvata. Tässä työssä pysytään vielä ainoastaan ensimmäisessä ja toisessa suunnitteluvaiheessa.

Suunnitteluvaatimuksena voidaan yksinkertaisesti pitää sitä, että kone olisi mahdollisimman hiljainen. Nykyinen ohjaamo on liian meluisa, joten uuden ohjaamon pitää ainakin olla hiljaisempi kuin nykyinen. Äänitason pitää ainakin olla samalla tasolla kuin kilpailijoilla, mieluiten vielä alhaisempi.

### 6.4.1 Taustaa

Keskeinen idea ISO 11688-1:ssa on se, että ymmärtää melun syntyä ja kulkua. Kaikki melun syntyyn vaikuttavat koneenosat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: melun lähteisiin, joissa melu syntyy, siirtoteihin, joilla melu etenee lähteestä ja lopuksi säteileviin pintoihin, joista melu säteilee ympäristöön. [76, s. 16]

Harvesterin melun lähteet ovat lähinnä moottori, hydraulikka ja harvesteripää. Moottorin äänen merkitys on ilmeinen, mutta myös hydraulikalla on merkittävä osuus koneen melussa. Harvesterin nosturi ja harvesteripää vaativat suuren tilavuusvirran ja korkean paineen. Kun tällainen virtaus kulkee letkuissa ohjaamon alla, virtauksesta voi syntyä merkittävää melua. Myös venttiilistössä syntyy melua, kun ohjataan virtausta eri toiminnoille. Harvesteripää tuottaa melua, joka riippuu työvaiheista. Saha pyörii kovaa silloin, kun puu kaadetaan ja katkotaan. Puun liikkeit ja oksien karsinta ovat pieniä melunlähteitä, samaten kuin mekaaniset kolahdukset harvesteripään liikkuvista osista. Kasvaneiden jäähdyttäjien ja tuulettimien kautta moottorin tuulettimen melu on vielä kasvanut merkittäväksi melunlähteeksi. Ohjaamon omiin melunlähteisiin kuuluu lähinnä raitisilmapuhallin.

Melun siirtotiet ovat runko, nosturi, ohjaamoripustus ja ohjaamon rakenteet. Ohjaamosta nähtynä melua säteilevä pinta on esimerkiksi konepelti, mutta kuljettajan näkökulmasta kaikki ohjaamon sisäpinnat ovat melun säteilijöitä.

ISO 11688-1 korostaa sitä, että tärkein keino vähentää melua on vähentää sen syntyä



lähteessä. Harvesterin tapauksessa tämä tarkoittaisi moottorin pienentämistä, kierroslukujen laskemista tai hydrauliiikan virtauksen pienentämistä. Tämä menee kuitenkin ohjaamosuunnittelun ulkopuolelle. Ohjaamoripustuksen suunnittelun yhteydessä voisi kuitenkin pohtia, olisiko mahdollista vaikuttaa hydrauliiikan letkutukseen. Kokemuksesta tiedetään, että letkuista lähtee helposti merkittävä melu suoraan ripustuksen rakenteisiin, jos niitä ei ole asennusvaiheessa sijoitettu oikein.

Melu tulee ohjaamoon kahta reittiä, ilman kautta ja rungon kautta. Moottorin tärinä tulee suoraan rungon kautta. Harvesteripää on kuitenkin pitkän nosturin päässä, joten rungon ja nosturin kautta kulkee tuskin merkittävästi melua harvesteripäästä. Rungosta tuleva melu voidaan estää pääsemästä ohjaamoon lähinnä vähentämällä kontaktia ohjaamon ja rungon välillä. Tämä on jo nykyisessä ohjaamossa toteutettu, sillä ohjaamo on kiinnitetty ainoastaan neljällä joustavalla kumipuslalla. Puslien lisäksi ainoat muut mekaaniset yhteydet ohjaamon ja rungon välillä ovat lämmityksen ja ilmastoinnin letkut sekä kaikki sähköjohdot.

Kaikki muu melu tulee ilmasta säteilemällä. Kaikki ohjaamon ulkopinnat, lähinnä siis pellit ja lasit, ottavat vastaan tämän säteilyn, ja niiden läpi melu johtuu sisään, jossa sisäpinnat säteilevät sitä kuljettajan korviin. Melu voi myös kulkea värähtelyjen muodossa suoraan istuimesta kuljettajan kehon läpi korviin. Tämä on kuitenkin minimoitu, kun käytetään pehmeää ja jousitettua istuinta.

## 6.4.2 Teoriaa

Äänieristys voi perustua moneen eri ilmiöön. Yksinkertaisin on etäisyys. Koska äänen teho jakautuu suuremmalle pinta-alalle mitä pidemmälle lähteestä mennään, kannattaisi sijoittaa lähteet mahdollisimman kauas koneen käyttäjästä. Harvesterin moottoria ei tietenkään pystytä siirtämään, mutta esimerkiksi raitisilmapuhallinta sijoitettaessa voidaan pitää tämä mielessä.

Vaimennus on keskeinen materiaaliominaisuus, joka liittyy äänieristykseen. Vaimennuksella tarkoitetaan materiaalissa olevaa sisäistä kitkaa, joka vastustaa materiaalin värähtelyä ja muuttaa liike-energian lämmöksi [77, s. 206]. Materiaalin vaimennusta kuvaillaan yleensä häviökertoimella. Vaimennusta voidaan myös lisätä lisäämällä osia, joilla on hyvä vaimennus [78].

Massan lisääminen vähentää myös pinnan värähtelytaipumusta. Alalla käytetyn peukalosäännön mukaan massan tuplaantuminen voi vähentää melua 5-6 dB [79]. Esimerkki massan ja vaimennuksen lisäämisestä on nykyisessä ohjaamossa käytetyt bitumipohjaiset äänieristelevyt, jotka vähentävät pintojen värähtelyä.

Pinta joka ei heijasta ääntä on absorboiva. Periaatteessa kaikki pinnat ovat enemmän tai vähemmän absorboivia, ja absorboinnin määrä riippuu lähinnä pinnan karheudesta ja huokoisuudesta. Pintoihin syntyy rajakerros, jossa ilman sisäinen kitka aiheuttaa energian menetystä. Rajakerroksen paksuus kasvaa pinnan karheuden ja huokoisuuden myötä, mikä lisää absorbointia [77, s. 272]. Eri taajuuksien absorboinnit eroavat toisistaan. Absorboiva materiaali vaimentaa tehokkaasti ääniaaltoja,

joiden aallonpituus on pienempi kuin neljä kertaa materiaalin paksuus. Tämän takia korkeammat taajuudet absorboituvat tehokkaammin kuin matalammat taajuudet, joille tarvittaisiin paksumpia kerroksia. [78, s. 14]

Diffuusio on toinen ilmiö, joka ei vähennä äänen energiaa vaan ainoastaan levittää sitä. Diffuusiota käytetään enimmäkseen suurissa saleissa, missä se vähentää kaikua samalla, kun elävä äänimaailma säilyy [77, s. 277]. Diffuusio ei siksi todennäköisesti sovellu pienen tilan eristämiseen kuten ohjaamon tapauksessa.

Kotelointi on menetelmä, joka perustuu vaimennukseen ja absorbointiin. Melun lähde suljetaan tiiviin kotelon sisälle. Ulkopinta on massiivisempaa materiaalia, ja sisäpinnalla on huokoista, absorboivaa materiaalia. Minimoidaan kotelon tuentapisteiden määrää, jotta kiinnitykset eivät johtaisi liikaa värähtelyjä. Esimerkkejä koteloinneista ovat konepelti ja myös itse ohjaamo. [76, s. 38]

Aktiivinen meluntorjunta on myös mahdollinen. Siinä mikrofoni mittaa äänen, kytkettynä signaaliprosessorin kautta kaiuttimeen, joka muodostaa samanlaisen äänen, mutta 180° vaiheella, joka sitten interferoi oikean äänen kanssa, jotta ne kumoavat toisensa. Tätä tekniikkaa käytetään nykyisin esimerkiksi kuulosuojaimissa.

### 6.4.3 Soveltaminen

Ohjaamon tavoitettu hiljaisuus pitää ottaa huomioon läpi koko suunnitteluprosessin ja kaikissa yksityiskohdissa. Melu voidaan jakaa kahteen kategoriaan, ulkoiseen, johon ohjaamosuunnittelija ei pysty vaikuttamaan, ja sisäiseen, johon ohjaamosuunnittelija voi vaikuttaa suunnittelun kautta [55, s. 121]. Sisäinen melu syntyy, kun tärinät pääsevät rungosta ohjaamorakenteisiin ja myös kun ulkoinen melu saa ohjaamon pinnat värähtelemään.

Ohjaamon eristäminen rungon värähtelyistä estää niitä luomasta lisää melua ohjaamorakenteiden kautta. Ohjaamon ja rungon väliset yhteydet on jo nyt minimoitu. Käyttämällä pehmeämpiä puslia voitaisiin parantaa ohjaamokiinnityksen värähtelyeristämiskykyä. Jousitettu ripustus voisi mahdollisesti vielä paremmin estää värähtelyjen pääsyä ohjaamoon.

Tärkeä lähtökohta ohjaamon suunnittelussa on se, että ohjaamo on tiivis. Tämä on tehty hyvin jo nykyisessä ohjaamossa, koska ohjaamossa ei ole juurikaan aukkoja. Takapuolella, ohjaamon alla, on ohjaamoilman sisäänotto, ja katossa, valokotelon sisällä, on ilmanvaihtoreiät, joista ohjaamon sisäilma pääsee ulos. Melu ei pääse suoraan sisään ilman sisäänoton kautta, sillä tiellä on ilmansuodatin. Voidaan kuitenkin harkita, olisiko toinen sijoitus, joka ei olisi niin lähellä konepeltiä, parempi sijainti ohjaamoilman sisäännotolle. Ilmanvaihtopuhallin on sinänsä myös melunlähde, joten sen siirtämisellä ohjaamon ulkopuolelle voisi myös olla hyvä vaikutus [55, s. 120]. Ilmanvaihtoreiät katossa ovat kattoverhoilun takana ja niin korkealla, kaukana melunlähteistä, että niistä tuskin pääsee paljon melua sisään.

Ohjaamon lattiassa, verhoilun alla, on reiät lämmityksen vesiletkuille ja ilmastoinnin kylmäaineen letkuille. Rei'issä on läpivientikumit, joten reiät ovat sinänsä tiiviit, mutta vielä tiiviimpi ratkaisu voisi olla läpivientinippojen käyttäminen. Silloin



lattiassa olisi vain kiinteästi asennetut nipat, joihin ohjaamon puoleiset ja koneen puoleiset letkut kiinnitetään. Tämä voisi myös helpottaa ohjaamon asennusta, jolloin koko koneen letkut eivät roiku ohjaamosta, vaan alustakoneen puoleiset letkut on valmiiksi asennettu alustakoneeseen ja liitetään lopuksi ohjaamoon kiinni. Suurempi määrä liitoskohtia voi kuitenkin lisätä vuotojen riskiä.

Nykyisen ohjaamon lattiassa on iso reikä jarrupolkimen alla. Siinä on jarruventtiili suoraan kinnitettynä polkimen kiinnitykseen. Logsetin kuormatraktoriohjaamossa jarruventtiili on makaavassa asennossa lattian alla jarrupolkimen lähellä, ja polkimen alla on tiivis luukku. Tämä taitaa olla järkevä ratkaisu myös uuteen harvesteriohjaamoon, jotta ohjaamo olisi vieläkin tiiviimpi.

Melua säteilevät pinnat ovat lattia, seinät, ikkunat ja katto. Lattia pitää saada paremmin äänieristäväksi, sillä nykyisin hydraulikan melu pääsee sen kautta hyvin sisään. Nykyisessä ohjaamossa lattia on vain 5 mm paksua peltiä, jonka päällä on verhoilu. Kuormatraktoriohjaamon lattia on paljon paremmin äänieristetty. Siinä on lattian alla paksu pehmeä äänieriste, ja sen alla suojapelti eristemateriaalia suojajamassa. Lattian päällä on vielä pehmeä eristekerros pohjapellin ja kumimaton välissä. Samanlainen ratkaisu kannattaisi implementoida uuteen harvesteriohjaamoon.

Harvesteriohjaamon kaikki ulkoiset metallipinnat ovat 3 mm paksua peltiä. Ainevahvuuden lisääminen voisi vähentää melun siirtymistä pintojen läpi. Toisaalta osien valmistettavuus voi hankaloitua ja ohjaamon paino nousta.

Nykyisen ohjaamon sisällä ei ole muita äänieristemateriaaleja kuin resonanssia vähentävät bitumilevyt ja sitten itse verhoilu, joka koostuu ohuesta lasikuidusta, jonka toisella puolella on karvaista huopaa ja toisella on ohut vaahtomuovikerros. Kuormatraktorissa sen sijaan kaikki suuremmat peltipinnat on sisäpuolelta peitetty paksulla vaahtomuovilla, jonka päällä on vielä bitumipinta. Tällaiset eristeet absorboivat melua todennäköisesti paljon tehokkaammin. Kuormatraktorissa on myös uretaanista valetut paksummat verhoiluosat. Kuormatraktorin katossa on kuitenkin samantyyppinen huopaverhoilu kuin harvesterissa.

Kaikki näkyvät metallipinnat ohjaamon teräsrakenteessa ovat tehokkaita melun säteilijöitä. Tämän takia pitäisi pyrkiä siihen, että mahdollisimman vähän metallia on näkyvissä, mikä autoteollisuudessa on selvästi huomioitu, jos esimerkiksi verrataan nykyaikaista autoa vanhaan autoon. Harvesteriohjaamossa etupilarit ovat tällä hetkellä ilman verhoilua. Niitäkin kannattaisi todennäköisesti verhoilla. Jäljelle jäävät vain ovireunat ilman verhoilua. Niiden verhoileminen voi kuitenkin olla hankalaa, sillä esillä oleva pinta on hyvin kapea.

#### 6.4.4 Aktiivinen meluntorjunta

Uusi tekniikka, jolla voisi olla paljon potentiaalia, on aktiivinen meluntorjunta, eli niin sanottu antimelu. Monet testit metsäkoneohjaamoissa ovat näyttäneet lupaavilta [80][81]. Aktiivinen meluntorjunta hyödyntää äänen aaltoluonnetta, tarkemmin sanottuna ääniaallot voivat interferoida toistensa kanssa. Jos luodaan ääni, jolla on päinvastainen aaltomuoto kuin kyseessä oleva melu, nämä ääniaallot

kumoavat toisensa ja tila jää hiljaiseksi.

Antimelujärjestelmät ovat yleensä joko takaisinkytketyt tai myötäkytketyt. Takaisinkytketyssä järjestelmässä mikrofoni mittaa kuljettajan kuuleman melun, ja digitaalinen signaaliprosessori luo sen perusteella vastaäänen, joka lähetetään kaiuttimeen ja kumoaa meluäännet. Digitaalinen signaaliprosessori säätää ulosmenevää antimelua, kunnes mitattu melu on pienimmillään. Myötäkytketyssä järjestelmässä mitataan alkuperäistä melua ja luodaan antimelu sen perusteella. Paras tulos saadaan aikaiseksi mittaamalla sekä alkuperäinen melu että lopullinen melu.

Antimelun periaate on kauan ollut tunnettu, mutta jotta sen saisi toimimaan, tarvitaan riittävän nopeat signaaliprosessorit, jotka ovat vasta viime aikoina tulleet saataville. Antimelun etu verrattuna perinteiseen äänieristykseen on, että se pystyy paremmin torjumaan matalampia taajuuksia, jotka yleensä menevät äänieristyksen läpi. Testit metsäkoneohjaamoissa osoittavat, että kun moottori pyörii vakiokierroksilla, voidaan antimelulla vähentää melutasoa merkittävästi. [80]

Antimelu tarvitsee kaiuttimia, jotka taas tarvitsevat tilaa. Ratkaisuna voisi olla yhdistetyt radio- ja antimelukaiuttimet. Digitaalinen signaaliprosessori saisi sisään alkuperäisen melun, mitatun melun ja radiosta tulevan äänisignaalin. Näiden perusteella signaaliprosessori muodostaisi antimelun ja lähettäisi sen sekä radion äänen kaiuttimiin. Jos käytetään takaisinkytkettyä järjestelmää, tämä lisätty toivottu ääni voi kuitenkin tuottaa haasteita oikean melun mittaamiseen.

Aktiivisessa meluntorjunnassa on paljon haasteita. Yksi on vaikeus saada ääniaaltoja interferoimaan halutusti koko kolmiulotteisessa tilassa [82]. Se ei kuitenkaan välttämättä haittaa ohjaamossa, jossa kuljettajan korvat ovat lähes aina tietyssä paikassa. Referenssimelun mittaaminen siinä kohdassa voi kuitenkin olla haasteellista. Toinen ongelma on menetelmän huono kyky torjua muita kuin jaksottaisia meluja. Se ei myöskään välttämättä haittaa, sillä hakkuutyössä moottori pyörii kuitenkin aika tasaisella nopeudella. Eli aktiivisella meluntorjunnalla voitaisiin ainoastaan vähentää moottorin melua ja mahdollisesti myös hydraulikan melua, mikäli sekin on tasaista.

## 6.5 Lämmitys- ja ilmastointijärjestelmä

Ohjaamossa tarvitaan lämmitystä ja jäähdytystä varmistamaan kuljettajalle hyvät työskentelyolosuhteet ympäri vuoden. Lämpöä voidaan saada ilmaiseksi moottorista, mutta jäähdytykseen tarvitaan erillinen jäähdytysjärjestelmä.

### 6.5.1 Toimintaperiaate

Jäähdytysjärjestelmä koostuu suljetusta piiristä, jossa kylmäaine kiertää. Kun kylmäaine virtaa paisuntaventtiilin läpi höyrytimeen, se muuttuu kaasuksi ja sitoo energiaa. Tämä saa höyrytimen viilenemään. Kylmäaine muuttuu takaisin nesteeksi, kun se menee kompressorin läpi, ja paine nousee. Kompressorin jälkeen



on vielä lauhdutin, jossa prosessissa kertynyt lämpö luovutetaan ympäristöön. Kylmäaineena käytetään nykyään R134a:ta, joka on ympäristölle vähemmän haitallinen kuin aikaisemmin käytetyt freonit.

Historiassa on myös kehitetty eri periaatteilla toimivia jäähdytysprosesseja, mutta tämä kiertävään kylmäaineeseen perustuva prosessi on nykyään hallitseva. Samaa prosessia käytetään sekä ajoneuvojen ilmastoinneissa että kotitalouksien jääkaapeissa ja pakastimissa. Jäähdyttäviä ilmastointeja käytetään ajoneuvoissa jäähdyttämisen lisäksi ilman kuivattamiseen, sillä ilmassa oleva kosteus tiivistyy ilman jäähtyessä, jolloin matkustamoon menevä ilma on kuivempi, ja lasien huurtuminen vähenee.

Ohjaamon lämmitys moottorin lämmöllä on edullinen menetelmä, sillä lämmitykseen ei tarvita ylimääräistä energiaa. Huono puoli on kuitenkin se, että lämpeneminen voi olla hidasta, kun moottori on kylmä. Tilannetta helpottaa polttoainekäyttöinen esilämmitin, joka lämmittää moottorin jäähdytysvettä ja samalla lämmittää myös ohjaamo. Toinen vaihtoehto voisi olla ohjaamon sähköinen lämmitys. Lämmitys olisi silloin ainakin nopea, mutta kuluttaisi enemmän energiaa. Polttoainekäyttöinen lämmitin on esilämmittimenä varmempi kuin sähköinen, sillä koneen akkukapasiteetti on aika rajoittunut.

### 6.5.2 Vaihtoehdot

Uuteen ohjaamoon ei ole tässä tapauksessa järkevää vaihtaa lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettyjä periaatteita. Voidaan kuitenkin pohtia, miten lämpötilat siirretään ohjaamoon. Nykyisessä ohjaamossa kulkee neljä letkua ohjaamoon. Yhdessä letkussa tulee lämmin vesi moottorista ja toisessa se palaa takaisin. Kaksi muuta letkua ovat kylmäaineen korkeapaine- ja matalapaineletkut. Ohjaamon ilmastointiyksikössä on puolestaan kaksi lämmönvaihdinga, toinen lämmölle ja toinen jäähdytykselle.

Jäähdytyksen kompressorilla on suhteellisen iso tehontarve, joten se on yleensä sijoitettu moottorin viereen ja saa tehonsa suoraan hihnan välityksellä. Sähköisellä kompressorilla itse kompressorin olisi sijoitettavissa mihin vain. Lauhdutin on myös siirrettävissä mikäli huolehditaan siitä, että se saa riittävän jäähdytyksen muulla tavalla.

Mikäli kompressorin ja lauhdutin pidetään samoilla paikoilla konepellin alla, löytyy kaksi vaihtoehtoa järjestelmän layoutille. Voidaan joko käyttää samaa järjestelmää kuin nykyisin eli, että ohjaamossa on erilliset lämmön ja kylmän lämmönsiirtimet, tai sitten ohjaamolle tehtäisiin oma lämmönsiirtopiiri, jossa kulkisi tilanteesta riippuen lämmitetty tai jäähdytetty vesi. Tämä toinen ratkaisu edellyttäisi toisen lämmönvaihtimen sijoittamista konepellin alle, jossa moottorin jäähdytysvesi voisi lämmittää piiriä, ja jäähdytysjärjestelmä jäähdyttää piiriä. Ohjaamossa tämä ratkaisu vaatisi vähemmän tilaa ja lämmön siirtäminen kallistettavaan ja kääntyvään ohjaamoon olisi helpompaa. Koska näissä letkuissa ei olisi kylmäaineletkujen korkeaa painetta, niitä voitaisiin varustaa pyörivillä liitoksilla, mikä vielä helpottaisi tilannetta ohjaamon kääntyessä. Järjestelmä olisi kuitenkin monimutkaisempi, sisältäisi enemmän komponentteja ja vaatisi enemmän tilaa konepellin alla, jossa tila on jo nyt ahdas.

Mikäli siirrytään täyssähköiseen ilmastointiin, olisi vielä vaihtoehtona siirtää koko jäähdytysjärjestelmä ohjaamoon. Silloin ei menisi yhtään kylmäaineletkua ohjaamosta ulos, joten ohjaamon liikkuvan ripustuksen toiminta helpottuisi. Lauhdutin vaatisi kuitenkin paljon tilaa ohjaamon ulkopuolella, ja myös erilliset tuulettimet riittävän jäähdytyksen varmistamiseksi. Tuulettimia pitäisi vielä suojata, etteivät ne vedä roskaa lauhduttimeen.

Asiakaskyselystä selvisi, että lasien huurteenesto ja sulatus pitäisi parantaa. Tämä edellyttää sitä, että suuttimia sijoitetaan muuallekin kuin vain ruutujen alapuolelle. Sillekin on vaihtoehtoina, että joko on yksi tuuletin koko ohjaamolle, ja siitä kulkee ilmaputkia kaikkiin suuttimiin, tai sitten olisi erilliset tuulettimet ohjaamon ylä- ja alaosassa. Huurteenestoon ja sulatukseen tarvitaan vain lämmintä ilmaa, joten jos käytetään kahta tuuletinta riittäisi, että vain toisessa on jäähdyttävä lämmönsiirrin.

## 6.6 Ripustus

Hytin ripustus koostuu hydraulisesti kallistettavasta alustasta ja kumipuslista. Kumien tehtävä on ohjaamon eristäminen rungon värähtelyistä, ja hydraulikalla pidetään ohjaamo vaakasuorassa epätasaisessa maastossa.

Asiakaskyselyn perusteella voidaan todeta, että ohjaamon kallistus joka suuntaan saisi olla vakiovarustus. Ohjaamon kääntö ei saa yhtä yksimielisesti kannatusta, mutta sen verran monet haluaisivat kuitenkin kääntyvän ohjaamon, että sen pitäisi ainakin olla valittavissa lisävarusteena.

### 6.6.1 Kumipuslat

Kumikiinnityksillä vähennetään tärinöiden pääsyä ohjaamoon. Tämä vaikuttaa sekä kuljettajan ajomukavuuteen että ohjaamon melutasoon. Tähän tarkoitukseen on yleisesti käytetty kumipuslia, sillä ne ovat yksinkertaiset ja kumilla on sopivat materiaaliominaisuudet tähän käyttöön. Joustavuuden lisäksi kumin sisäinen kitka tuo sopivasti vaimennusta, joten ylimääräisiä vaimentimia ei tarvita. Kumikiinnitys pysyy myös kantamaan kuormitusta kaikissa suunnissa, eli ylimääräisiä tukirakenteita ei tarvita. [83]

Kumijousien teoreettinen tarkastelu on kuitenkin vaikea. Kumin kimmomoduuli ei ole vakio, vaan se riippuu kumin muodosta ja tilasta. Kumi käyttäytyy puristumattomasti, joten sen jäykkyys puristettaessa riippuu siitä, paljonko vapaata laajennustilaa kumilla on. Kumin kimmomoduuli riippuu vielä kumin kovuudesta, joka vaihtelee eri kumilaaduilla [52, s. 154]. Tämän lisäksi kumin vaimennuksen tarkka määrittäminen on vaikeaa, sillä se riippuu yleensä sekä kuormitustaaajuudesta että lämpötilasta [83].

Nykyisessä harvesteriohjaamossa käytetään neljää lieriönmuotoista puslaa (kuva 6.20). Kaikki kantavat pystysuuntaista kuormitusta säteen suuntaisesti ja koska niitä ei ole tarkoitettu kantamaan aksiaalista kuormaa, puolet niistä on aseteltu



kohtisuoraan muihin nähden, jotta kiinnitys olisi riittävän tukeva kaikkiin suuntiin. Puslan teoreettinen tarkastelu on hankala, sillä muotonsa takia siinä esiintyy sekä puristus-, veto- että leikkausjännitystä.



Kuva 6.20: Harvesteriohjaamon kiinnityksessä värähtelyeristeenä käytetty kumi-pusla (kuva Logset)

Puslien jousivakiosta voidaan kuitenkin saada suuntaa antava arvio tarkastelemalla ohjaamon asennusta. Ohjaamon painomittauksista tiedetään, että etukumit kantavat noin 202 kg, eli 101 kg per kumi ja takakumit kantavat noin 708 kg, eli 354 kg per kumi. Jotta ohjaamo kuitenkin olisi vaakasuorassa, takapuslat on asennettu 5 mm korkeammalle kuin etupuslat. Tästä voidaan arvioida yhden puslan jousivakio:

$$k_{\text{pusla}} = \frac{(354 \text{ kg} - 101 \text{ kg}) \cdot g}{5 \text{ mm}} \approx 500 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.5)$$

Seuraavaksi tarkastellaan nykyisen ripustuksen värähtelyeristyskykyä. Jos idealisoi-tu järjestelmä koostuu massasta, joka on ripustettu jousen ja vaimentimen kautta värähtelevään alustaan, voidaan määrittää järjestelmän siirtosuhde (en. transmissi-bility ratio), joka kertoo paljonko värähtelyt ovat vähentyneet massassa verrattuna alustaan. Jotta siirtosuhdetta voitaisiin tutkia, pitää vielä tietää herätevärähtelyn taajuus [84, s. 398]. Koska tärkein värähtelylähde on moottori, oletetaan seuraavissa laskuissa, että herätetaajuus on verrannollinen moottorin kierroslukuun, joka työnteossa on noin 1500 kierrosta minuutissa. Koska kyseessä on 4-tahtimoottori, tapahtuu yhden sylinterin sytytys vain joka toisella kierroksella. Jos moottorissa on 6 sylinteriä, olisi tällöin herätteen taajuus

$$f = 1500/\text{min} \cdot \frac{6}{2} = 4500/\text{min} \quad (6.6)$$

Vastaavasti herätteen kulmataajuus  $\omega$  olisi

$$\omega = 2\pi \frac{4500}{60 \text{ s}} \quad (6.7)$$

Herätetaajuuden lisäksi siirtosuhde riippuu järjestelmän ominaistajuudesta. Koska etupuslilla on eri kuormitus kuin takapuslilla, tutkitaan niitä erikseen. Ominais-taajuudet saadaan seuraavasti [84, s. 8]:

$$\omega_{\text{etu}} = \sqrt{\frac{k}{m_{\text{etu}}}} \approx 70,0/\text{s} \quad (6.8)$$

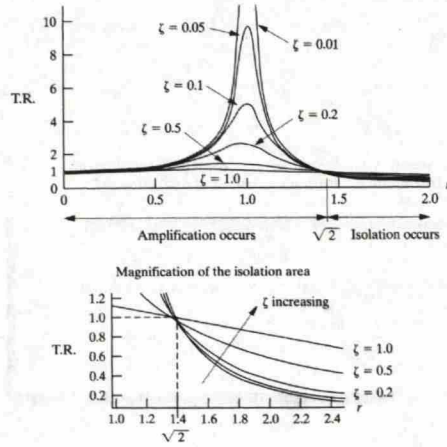
$$\omega_{\text{taka}} = \sqrt{\frac{k}{m_{\text{taka}}}} \approx 37,4/\text{s} \quad (6.9)$$

Herätteen taajuuden ja järjestelmän ominaistajuuden suhde merkitään symbolilla  $r$ .

$$r_{\text{etu}} = \frac{\omega}{\omega_{\text{etu}}} \approx 6,7 \quad (6.10)$$

$$r_{\text{taka}} = \frac{\omega}{\omega_{\text{taka}}} \approx 12,6 \quad (6.11)$$

Kuvasta 6.21 nähdään, että joustava kiinnitys pienentää värähtelyä niin kauan, kun  $r$  on suurempi kuin  $\sqrt{2}$ , eli noin 1,4. Sekä etu- että takakiinnitys täyttävät tämän ehdon. Kyseisten kumipuslien vaimennuksesta ei ole tarkkaa tietoa. SFS 3552 väittää, että kumin vaimennussuhde ( $\zeta$ ) on yleensä 0,05-0,4 [85, s. 7]. Kuvasta 6.21 nähdään, että niillä vaimennussuhteilla ja lasketuilla  $r$ -arvoilla siirtosuhte on selvästi pienempi kuin 1, eli värähtelyt pienenevät. Etupuslien siirtosuhte on kuitenkin suurempi, joten ne eivät eristä värähtelyiltä yhtä tehokkaasti kuin takapuslat.



Kuva 6.21: Värähtelyn siirtosuhteen riippuvuus herätteen taajuuden ja järjestelmän ominaistajuuden suhteesta [84, s. 400]

Siirtosuhteen tarkka arvo saadaan kaavalla [84, s. 398]

$$\sqrt{\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (6.12)$$

Jos oletetaan, että vaimennussuhde olisi esimerkiksi 0,1, saadaan siirtosuhteeksi edessä 0,04 ja takana 0,02.



Pienempi jousivakio parantaisi yhä kumi-eristyskykyä, sillä silloin ominaisuu-  
juudet pienenisivät ja  $r$ -arvot kasvaisivat. Jousivakiota voidaan pienentää puslaa  
kaventamalla tai halkaisijaa suurentamalla. Puslaa ei voida rajattomasti kaventaa,  
sillä silloin kumin suurin sallittu jännitys (dynaaminen kuormitus, 1,5 MPa [52, s.  
154]) voi ylittyä. Yksinkertainen suuntaa antava arvo pienimmälle sallitulle puslan  
leveydelle saadaan olettamalla, että yhteen puslaan vaikuttaa neljäsosa ohjaamon  
painosta ( $\approx 230$  kg), ja koko kuormitus on puslan keskiholkin projektiopinta-alaan  
vaikuttava normaalijännitys. Keskiholkin paksuus  $d$  on 52 mm.

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A_{\min}} \quad (6.13)$$

$$A_{\min} = d \cdot L_{\min} \quad (6.14)$$

$$\Rightarrow L_{\min} = \frac{230 \text{ kg} \cdot g}{1,5 \text{ MPa} \cdot 52 \text{ mm}} \approx 3 \text{ cm} \quad (6.15)$$

Teoreettisesti puslan kestävydessä ei siis ole ongelmia. Käytännössä kapeampia  
puslia on kokeiltu, mutta ne eivät kuitenkaan kestäneet pitkän päälle. Erijäykkyyisiä  
puslia edessä ja takana on myös kokeiltu, mutta koska puslien kiinnitysväli on lyhyt,  
ohjaamon pitkittäisvakavuus huononee ja ohjaamo voi alkaa huojua, jos laitetaan  
pehmeämmät puslat eteen. [86]

Jos halutaan parantaa kumipuslien toimintaa, pitäisi ensinnäkin suunnitella niiden  
sijaintia siten, että kaikki kantavat niin samansuuruisen kuorman kuin mahdolis-  
ta. Sen lisäksi niiden keskinäinen etäisyys kannattaisi valita riittävän suureksi, jotta  
puslien pehmeys ei huononna ohjaamon vakavuutta. Toinen asia, joka parantaisi oh-  
jaamon vakautta pehmeillä puslilla, olisi kiinnityspisteiden sijoittaminen korkeam-  
malle, jotta ohjaamon painopiste tulee lähemmäs kiinnityspisteiden muodostamaa  
tasoa.

## 6.6.2 Vakautus

Ohjaamon vakautuksella pyritään pitämään ohjaamo vaakasuorana kaikissa tilan-  
teissa, mikä tarjoaa mukavamman työskentelyasennon kuljettajalle. Vakautus voi  
tapahtua kahdella eri tavalla, joko aktiivisella ohjauksella, yleensä hydraulisesti, tai  
passiivisesti painovoiman avulla. Painovoimalla vakautettu ohjaamo, jota eräs val-  
mistaja kutsuu Pendo-ohjaamoksi, on ylhäältä ripustettu vapaasti liikkuvalla nive-  
lillä ja pyrkii itsestään vaakasuoraan asentoon (kuva 6.22). Tällaisen ratkaisun heik-  
kous on kiinnityspiste, joka on niin korkealla, että koneen sivukallistukset aiheutta-  
vat siihen suuria siirtymiä, jotka liikuttavat ohjaamoja sivusuunnassa metrien luok-  
kaa. Tämän takia useimmat valmistajat ovat nykyään siirtyneet aktiivisesti ohjat-  
tuun hydrauliseen vakautukseen, joka mahdollistaa ohjaamon ripustamisen alhaalta.  
Tällöin voidaan vakautuksella vähentää kuljettajan sivuttaissiirtymiä huomattavas-  
ti. Tällainen ripustus parantaa myös koneen vakautta ja kone vaatii vähemmän tilaa,  
kun ajetaan epätasaisessa maastossa.



Kuva 6.22: Logset 6E -yhdistelmäkone, varustettuna Pendo-ohjaamolla [2]

Ripustuksen suunnittelussa on tiettyjä haasteita. Kuljetuskorkeus asettaa tiukan rajan. Jos kone ei mahdu lavetin päällä siltojen alta, koneen käyttö hankaloituu huomattavasti. Ohjaamon tila on myös varsin rajoitettu. Ohjaamon edessä on nosturi (jota voi kallistaa eteen ja taakse) ja ohjaamon takana on konepelti. Ääritapauksessa, jos nosturi on kallistettu taakse, runko-ohjaus kääntynyt ja takarunko kallistunut, ohjaamon vapaa tila voi käydä aika ahtaaksi. Ohjaamon paikka suoraan keskinivelen yläpuolella lisää myös haasteita, kun ripustuksen pitää kiinnittyä eturunkoon. Ohjaamo kannattaa kiinnittää eturunkoon eikä takarunkoon, koska eturungon teli vakauttaa eturungon liikkeitä samalla, kun ohjaamo paremmin seuraa nosturia, kun ne ovat samassa rungossa.

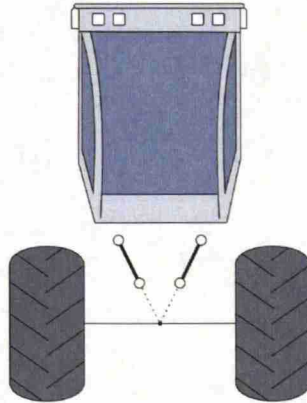
Koska kone on pitkä, maaston epätasaisuudet eivät aiheuta yhtä suuria kallisteluja pituussuunnassa kuin sivusuunnassa. Tämän takia pitkittäisvakautuksen keinupisteen sijoitus kannattaa lähinnä valita sen mukaan, että ohjaamo vie kallistuessaan mahdollisimman vähän tilaa.

Sivusuuntaisen vakautuksen keinupiste kannattaisi sijoittaa mahdollisimman alhaalle, jotta vakautuksen avulla pystyttäisiin kompensoimaan kallisteluja sivuttaisliikkeitä. Tämä edellyttää tietenkin sitä, että aktiivinen vakautus on riittävän nopea, muuten siitä tulee vastakkainen vaikutus. Rungon takia keinupistettä ei kuitenkaan voi sijoittaa niin alhaalle kuin haluttaisiin. Ratkaisu tähän voisi olla monivarsituenta. Kahdella varrella, jotka ovat keskenään v-asennossa, voitaisiin saavuttaa tavoitettu teoreettinen keinupiste (kuva 6.23). Rakenne on kuitenkin monimutkainen ja vaatii lisää laakerointeja, yhden sijasta neljää laakerointia.

Jos harvesteriohjaamo on varustettu käännöllä, käännön tarvitsema kääntökulma ei ole kovin suuri. Hakkuutyössä nosturi on harvemmin enemmän kuin  $90^\circ$  sivusuunnassa, ja koska ohjaamo on nosturin takana, ohjaamon tarvitsema maksimikulma on selvästi pienempi kuin  $90^\circ$ . Suuri kääntökulma vaikeuttaa letkujen vientiä rungosta ohjaamoon, ja myös kääntötoimilaite voi monimutkaistua. Jos kääntö tapahtuu hydraulimoottorilla ja hammaskehällä, toimilaite ei rajoita suurinta kääntökulmaa. Jos toimilaitteena sen sijaan käytetään halvempaa hydraulisynteriä, on vaikeaa saada suurempia kääntökulmia aikaiseksi.

Jos sama kääntyvä ohjaamo sijoitettaisiin kuormatraktoriin, tarvittaisiin kääntö-





Kuva 6.23: Sivuvakautuksen keinupisteen teoreettinen paikka monivarsiripustuksessa

kulma, joka kaiken kaikkiaan olisi pitkälle yli  $180^\circ$ , jotta ohjaamo pystyisi kääntymään edestä taakse ja vielä takana pystyisi kääntymään sivuun kuormatessa. Kääntölaitetta suunniteltaessa pitää siis ottaa huomioon, halutaanko käyttää samaa kääntölaitetta myös kuormatraktorissa.

### 6.6.3 Jousitus

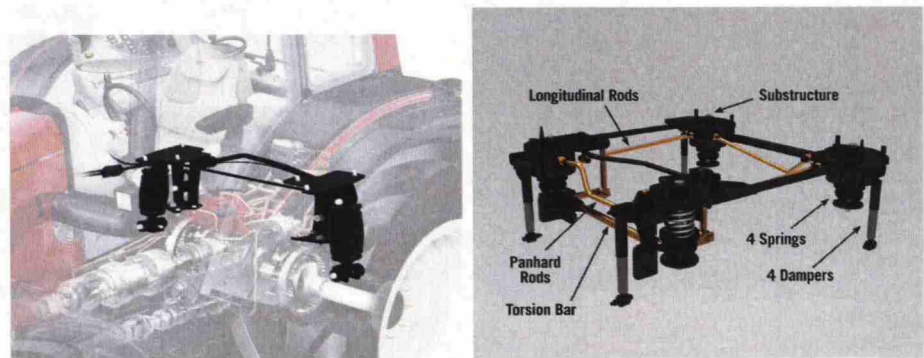
Metsä on kova työympäristö. Vaikka ajonopeudet eivät ole korkeita, maasto on epätasainen ja kova rengastus ei pehmennä menoa. Tämän lisäksi nosturista tulee huomionarvoisia iskuja ja värähtelyjä. Jousitus voisi lieventää ajosta tulevia tärähtelyjä ja osittain myös nosturin tärinöitä. Jousitus on kuitenkin harvinainen käsite metsäkonemaailmassa. Rottne on lähes ainoa valmistaja, jolla on ohjaamojousitus lisävarusteena [87]. Ponssella on myös aktiivinen jousitusjärjestelmä saatavissa kuusipyöräisiin malleihin, mutta niissä itse pyöräakseli on jousitettu [88]. Asiakaskyselyn perusteella ohjaamojousitusta kaivataan lähinnä kuormatraktoreihin, mutta se voisi olla harkinnanarvoinen lisävaruste myös harvestereihin, jos se ei ole liian kallis.

Jousituksen voisi sijoittaa suoraan ohjaamon alle, erilleen vakautusmekanismista. Tämä tarkoittaa käytännössä kääntölaakerin (jos koneessa on ohjaamon kääntö) ja ohjaamon väliin. Tämän ratkaisun hyvä puoli olisi se, että vakautuksella ja jousituksella olisi selkeä tehtäväjako ja että jousituksen toiminta helpottuu, kun jousituksen alusta on aina suurin piirtein vaakasuorassa. Jousituksen periaate on myös vapaasti valittavissa, eli mekaaninen jousitus kierrejousilla, ilmajousitus tai hydropneumaattinen jousitus voisivat olla vaihtoehtoja. Tällainen jousitus lisää kuitenkin monimutkaisuutta ohjaamon standardiripustukseen verrattuna, sillä jousien lisäksi tarvitaan myös vaimentimia sekä ripustusmekanismi, joka rajoittaa ohjaamon vapaata liikkumista ainoastaan jousitettuun suuntaan.

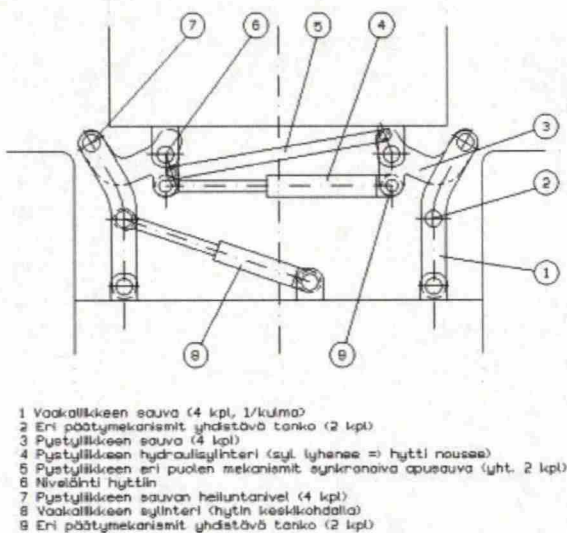
Joustoelementtien määrälle ja sijoitukselle löytyy useita vaihtoehtoja. Maatalustraktoreiden ohjaamojousituksissa ohjaamo on yleensä mekaanisesti ripustettu yh-

destä reunasta (esimerkiksi Valtra AutoComfort) tai koko ohjaamo on jousien varassa, niin sanottu nelipistejousitus (esimerkiksi Case IH Steiger). Koska itse joustokomponentti pystyy ainoastaan kantamaan kuormaa oman pituusakselinsa suuntaisesti, tarvitaan joustoelementtien lisäksi mekanismeja rajoittamaan ohjaamon liikkeitä.

Kuvassa 6.24 näkyy kaksi eri ohjaamojousitusta maataloustraktoreissa. Kaksipistejousituksessa ohjaamon normaali takakiinnitys on korvattu kahdella ilmajousivai-mentimella. Jotta ohjaamon takaosa olisi riittävän tukeva, taakse on vielä lisätty poikittainen Panhard-tanko. Ohjaamon nelipistejousituksen toteuttamiseen tarvitaan yleensä huomattavasti enemmän osia, kuten pituussuuntaisia reaktiotankoja ja kallistusvakaimia, sillä rajoitettavien vapausasteiden määrä on suurempi.



Kuva 6.24: Valtran AutoComfort-ohjaamojousitus (kuva Valtra), ja Case IH Steigerin nelipistejousitus (kuva Case IH)



Kuva 6.25: Ruotsissa tiedeprojektina kehitetty aktiivinen metsäkoneohjaamo-ripustus [78]

Maataloustraktoreissa käytetään pääsääntöisesti passiivisia ja puoliaktiivisia jousituksia. Metsien suurten epätasaisuuksien takia on metsäkonemaailmassa kiinnitet-



ty paljon huomiota täysaktiivisiin jousituksiin. Aktiivisessa jousituksessa mitataan maaston epätasaisuudet ja pyritään ennakoivasti estämään värähtelyjä syntymästä [89]. Ruotsissa testattiin aktiivista jousitusta metsäkoneissa jo vuonna 1991 (kuva 6.25). Erikoinen piirre silloin testatulle ripustukselle oli, että ohjaamo pääsi liikkumaan myös sivusuunnassa, jotta pystyttäisiin paremmin estämään sivusuuntaisia värähtelyjä. Tämä ratkaisu ei ole tullut tuotantoon, sen sijaan Rottnen Comfort Line (kuva 6.26) on ollut markkinoilla jo monta vuotta. Comfort Line on hydropneumaattinen nelipistejousitus, jossa ohjaamon liikkeitä hallitaan neljällä kaasu-/hydraulisylinterillä ohjaamon kulmissa.

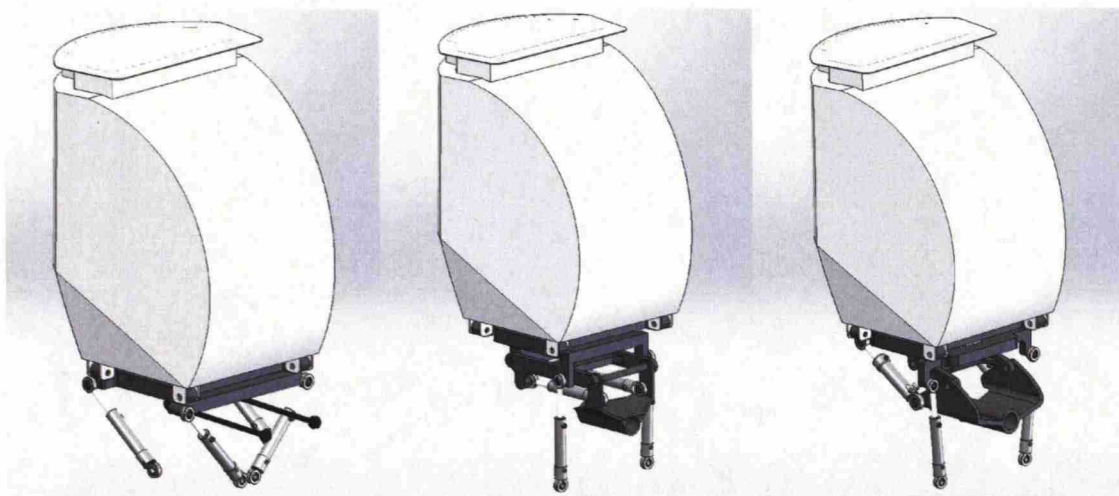


Kuva 6.26: Rottnen aktiivinen ohjaamojousitus, Comfort Line (kuva Jonas Hedström)

Toinen tapa toteuttaa ohjaamojousitusta harvesteriohjaamossa, olisi jousituksen integroiminen vakautusmekanismiin. Jos ohjaamo on jo nivelöidysti ripustettu vakautusta varten, olisi periaatteessa mahdollista käyttää samaa ripustusta ohjaamon jousitukseen. Ja mikäli vakautus toimii hydraulisylintereillä, niihin voisi liittää joustavuutta kytkemällä niihin paineakkuja. Silloin ei tarvittaisi ylimääräisiä joustoelementtejäkään, paineakku hoitaisi jousen tehtävää ja vaimennus voitaisiin aikaansaada kuristamalla öljyn virtausta paineakkuun.

Jos vakautusmekanismi vielä muutettaisiin niin, että koko sen paino olisi hydraulisylintereiden varassa, voitaisiin aikaansaada pystysuuntaista joustoa. Lisätty pystysuuntainen liike mahdollistaisi ohjaamon korkeussäätöä, eli ohjaamo voisi nostaa, kun halutaan parempi näkyvyys ja laskea, kun tarvitaan matala kuljetuskorkeus. Eri vaihtoehtoja tälle näkyy kuvassa 6.27.

Paineakkujen kytkemisessä vakautussylintereihin on kuitenkin vaaroja. Yksi on se, että ohjaamon käyttäytyminen muuttuu liian huojuvaksi. Toinen on se, että sylintereiden joustava ominaisuus sekoittaa vakautuksen säätöjärjestelmää tai, että koko säätöjärjestelmä muuttuisi epästabiiliksi.



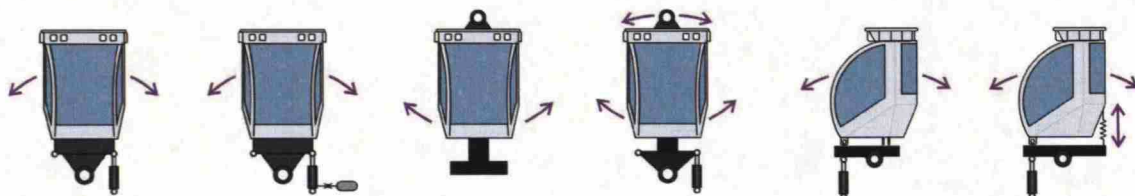
Kuva 6.27: Erilaisia ohjaamoripustuksia, joissa koko ohjaamon paino olisi sylinterien varassa

#### 6.6.4 Simulointeja

Eri ripustusideoita testattiin simuloimalla. Lähinnä haluttiin tietää miten ne periaatetasolla toimisivat. Kokonaisen koneen simulointi monikappalesimulointiohjelmalla todettiin liian monimutkaiseksi, joten Matlabin Simulinkissä tehtiin yksinkertaistettuja simulointeja. Simulinkin etu on myös helppous liittää säätöjärjestelmiä malliin. Kuvassa 6.28 näkyvät ne eri ripustusvaihtoehdot, joita simuloitiin.

Eniten kiinnosti tieto siitä, miten nykyinen vakautusmekanismi käyttäytyisi, jos sen sylintereihin kytkettäisiin paineakut. Haluttiin simuloida, miten lisätty jousitus vaikuttaisi ohjaamon sivuttaisvakavuuteen sekä kuljettajaan kohdistuviin kiihtyvyyksiin. Mielenkiinnon vuoksi testattiin myös, miten painovoimalla toimiva Pendo-ripustus käyttäytyisi nykyiseen vakautukseen verrattuna. Simulointimalleja pystyttiin vielä yhdistämään hypoteettiseksi ratkaisuksi, jossa ohjaamo on ylhäältä ripustettu välirunkoon, joka on alhaalta hydraulisesti vakautettu.

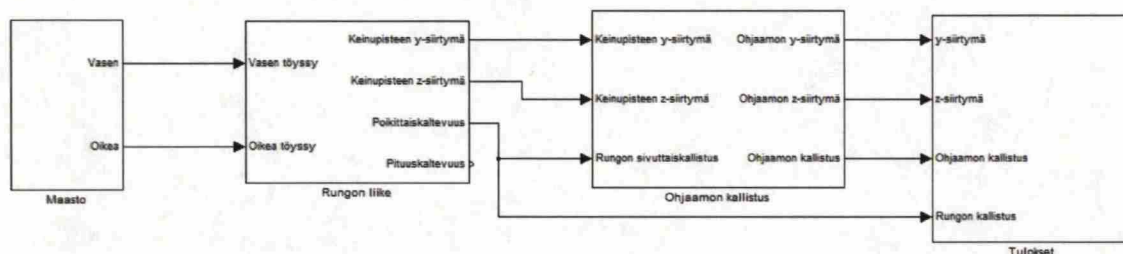
Toinen asia jota simuloitiin, oli kuinka ohjaamon kaksipistejousitus vaikuttaisi kuljettajan pystykiihtyvyyksiin.



Kuva 6.28: Eri ripustusvaihtoehdot, joita simuloitiin

Seuraavaksi on tarkempi esittely, paineakkuvakautuksen simulointimallin rakenteesta. Mallin päätaso näkyy kuvassa 6.29. Ensimmäinen lohko, Maasto, luo maaston

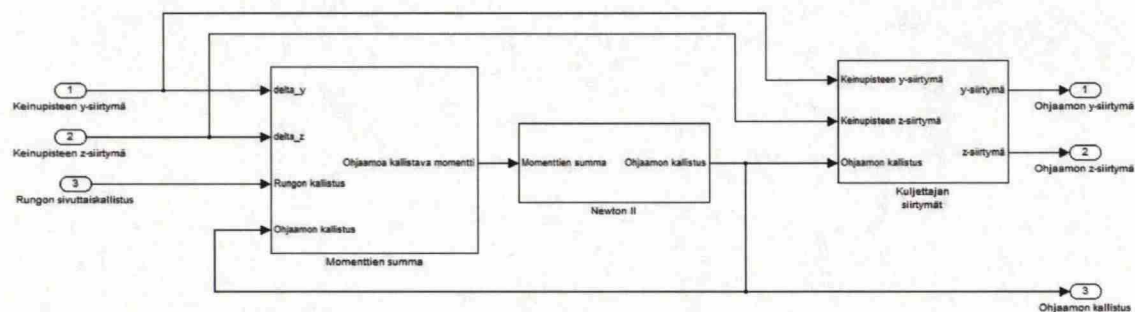




Kuva 6.29: Paineakuilla jousitetun ohjaamoripustuksen simulinkmallin päätaso

muodot, jotka vasemmat ja oikeat pyörät ajavat yli. Seuraava lohko, Rungon liike, laskee tämän perusteella rungon kallistuksen sekä ripustuksen kiinnityspisteen siirtymät. Kolmas lohko, Ohjaamon kallistus (kuva 6.30), laskee ohjaamon sivuttaisliikkeet rungon liikkeiden perusteella. Mallissa oikea tilanne on yksinkertaistettu yhden vapausasteen liikkeeksi, käytetty fysikaalinen malli näkyy kuvassa 6.31.

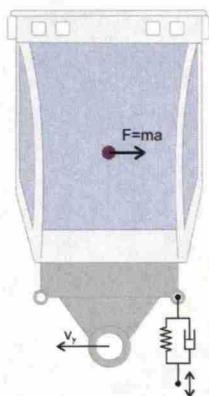
Ohjaamon kulmakiikkyvyys lasketaan mallissa ohjaamoon vaikuttavien momenttien sekä ohjaamon hitausmomentin perusteella. Kulmakiikkyvyyttä integroimalla kahdesti saadaan ohjaamon kulma-asema. Ohjaamoon vaikuttavat voimat, jotka on otettu huomioon, ovat kallistussylinterien voima, joka tässä tapauksessa on mallinnettu jousena ja vaimentimena sekä painopisteen hitaus, joka huomataan, kun alhaalla oleva kiinnityspiste liikkuu sivusuunnassa rungon kallistelun johdosta. Jousivoima on mallinnettu lineaarisena ja vaimennus on mallinnettu suoraan verrannolliseksi nopeuteen. Todellisuudessa paineakku ei käyttäydy lineaarisesti, eikä myöskään kuristuksen virtausvastus, mutta tällaiseen periaatetason testimalliin yksinkertaistettu fysiikka riittää.



Kuva 6.30: Simulink-alijärjestelmä ohjaamon liikkeille

Hydraulisylinterien aktiivinen ohjaus, kun ohjaamo vakautetaan, toimii mallissa jousen kiinnityspistettä siirtämällä. Vakautusalgorithmia käytetään yksinkertaista P-säädintä, joka asettaa jousen kiinnityspisteen siirtonopeuden verrannolliseksi ohjaamon kaltevuuteen. Säädön nopeus on silmämääräisesti asetettu realistiseksi.

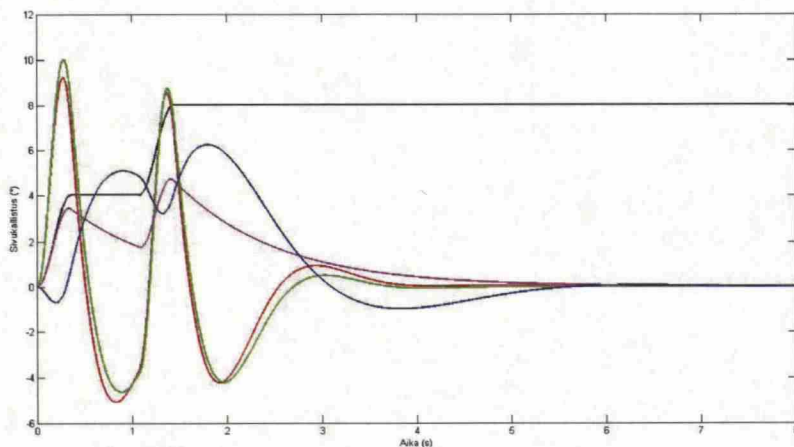
Mallin mitat on otettu oikeasta CAD-mallista. Ohjaamon ja sen kiinnityksen hitausmomentti on sen sijaan otettu yksinkertaistetusta CAD-mallista, jossa ohjaamo on umpinainen osa, jonka tiheyttä on muutettu sellaiseksi, että sen paino on



Kuva 6.31: Simuloinneissa käytetty fysikaalinen malli ohjaamon kallistuksesta

realistinen, 910 kg ja ripustusosien paino on laskettu siitä, että ne olisivat umpinaista terästä.

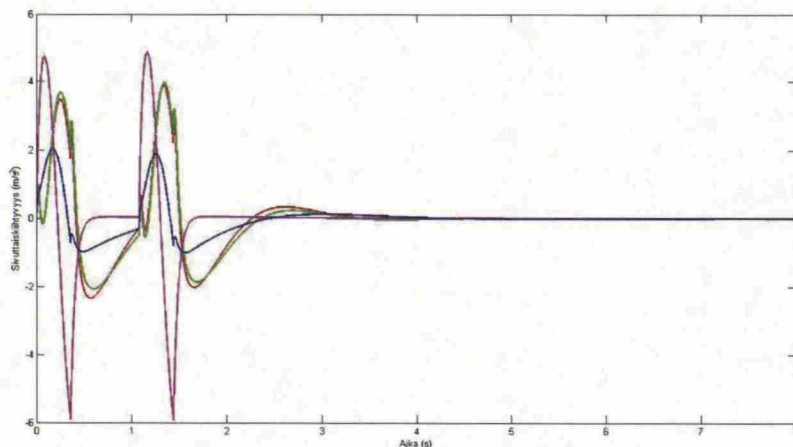
Mallilla tehtiin simulointi, jossa harvesterilla ajettaisiin 5 km/h ja vasemmat pyörät ajaisivat 30 cm korkealle tasolle, jonka reuna on sinimuotoinen. Tulokset on esitetty kuvissa 6.32 ja 6.33.



Kuva 6.32: Kallistuskulmat, kun koneen vasemmat renkaat ylittävät esteen. Musta käyrä on eturunon sivukallistus, magenta nykyisen ohjaamon sivukallistus, sininen paineakuilla varustettu, vihreä Pendo-ohjaamo ja punainen Pendo-ohjaamo hydraulisesti kallistettavalla välirungolla.

On hankalaa saada tarkkaa kiihtyvyydataa mallista, sillä pienet epäjatkuvuudet aiheuttavat helposti suuria piikkejä numeerisessa derivoinnissa. Sen takia tulostettava kiihtyvyydata menee mallissa alipäästösuodattimen läpi. Suodattimen aikavakio valittiin siten, että saataisiin pahimmat piikit pois ilman, että käyrä vääristyisi liikaa.





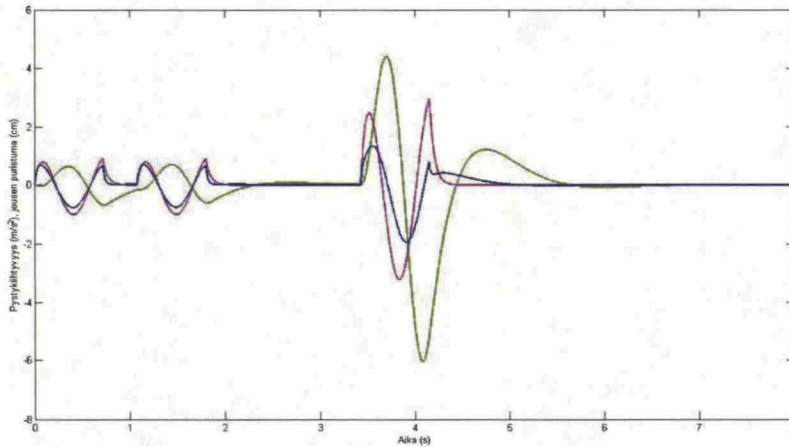
Kuva 6.33: Kuljettajan sivuttaiskiihtyvyys, kun koneen vasemmat renkaat ylittävät esteen. Magenta käyrä on nykyinen ohjaamo, sininen on paineakuilla varustettuna, vihreä on Pendo-ohjaamo ja punainen on Pendo-ohjaamo hydraulisesti kalistettavalla välirungolla.

Tuloksista nähdään, että paineakuilla jousitettu ripustus heiluu enemmän kuin kiinteä. Toisaalta kiihtyvyydet ovat huomattavasti pienemmät jousitetussa ohjaamossa. Kun testattiin jousivakion ja vaimennuskertoimen arvojen nostamista, jousitetut käyrät lähenivät joustamattoman käyriä eli heilunta väheni, mutta samalla kiihtyvyydet kasvoivat. Tuloksista nähdään myös, että paineakut eivät häiritse aktiivisen vakautuksen toimintaa, sen sijaan vakautus vähentää paineakuista johtuvia heilahdeluja. Jos harkitsee jousituksen integrointia nykyisen tapaiseen vakautukseen, pitää siis ensin päättää, halutaanko pitää heilahtelut vai kiihtyvyydet pieninä.

Normaalin hydraulisen ripustuksen sivuttaiskiihtyvyydet saadaan pienemmään, kun vakautuksen säätönopeutta kasvatetaan. Mielenkiintoinen tulos simuloinneista on kuitenkin se, että vaikka säätönopeus moninkertaistetaan, P-säädin ei pysty eliminomaan äkillisiä kiihtyvyyksiä. Kiihtyvyyksien pienentäminen ainoastaan aktiivisella ohjauksella vaatii siis paremman säätöalgoritmin.

Pendo-ohjaamon sivuttaiskiihtyvyydet ovat tässä tapauksessa vähän pienemmät kuin hydraulisesti vakautetun ohjaamon, mutta kallistuskulmat ovat puolestaan paljon suuremmat. Pendo-ripustuksen mallista huomataan, että ripustuksen vaimennuksella on suuri merkitys käyttäytymiseen. Pienellä vaimennuksella heilahtelut ovat vielä suuremmat kuin kuvassa 6.32. Vaimennuksella ei kuitenkaan vaikuta olevan kovin suurta vaikutusta sivuttaiskiihtyvyyksiin. Tuloksista nähdään lopuksi, että Pendo-ripustukseen lisätty hydraulinen vakautus ei myöskään vaikuta merkittävästi.

Simuloitiin vielä sitä, että ohjaamon takapää olisi jousien varassa. Malli rakennettiin samalla tavalla kuin sivuttaiskallistusten mallit ja simuloitava tilanne oli se, että harvesterin vasemmat pyörät ajaisivat 30 cm korkean sinimuotoisen töyssyn yli nopeudella 5 km/h. Tulokset on esitetty kuvassa 6.34. Siitä nähdään, että jousituksella



Kuva 6.34: Kuljettajaan kohdistuvat pystykiihtyvyydet, kun koneen vasemmat pyörät ajavat esteen yli. Magenta käyrä on nykyinen ohjaamo, sininen on jousitetulla ohjaamolla. Vihreä käyrä edustaa ohjaamon takapäähän kiinnitetyn jousen puristumaa senttimetreinä.

pystyttäisiin pienentämään ohjaamon pystykiihtyvyyksiä huomattavasti. Ohjaamon tarvitsema joustomatka simuloitussa tilanteessa oli noin 10 cm. Tuloksia tulkittaessa pitää kuitenkin muistaa, että ohjaamon pystykiihtyvyydet eivät mene sellaisenaan kuljettajaan, vaan välissä on jousitettu istuin, joka pienentää kaikki kuljettajaan kohdistuvat pystykiihtyvyydet.

## 6.7 Hallintalaitteet

Harvesteria ohjataan pääasiassa joystickeillä. Niiden sijoitus on kaikissa metsäkoneissa jo kauan ollut ergonomisesti kyynärnojien päissä. Vipujen muodossa ja toiminnassa löytyy kuitenkin eroja ja jokaisella kuljettajalla on oma mielipiteensä, mikä on optimaalinen hallintavipu. Harvesterin hallintalaitteiden suunnittelussa haasteena on, että hakkuutyössä tarvitaan niin paljon eri toimintoja, että väistämättä tarvitaan paljon muitakin hallintalaitteita kuin vain itse vivut.

### 6.7.1 Eri filosofiat

Kun katselee eri valmistajien hallintalaitteita, voidaan tunnistaa kaksi eri pääfilosofiaa. Toinen on se, että kaikki ylimääräiset hallintalaitteet (yleensä painonapit) on sijoitettu itse vipuun, jotta vivusta ei tarvitsisi päästää irti, kun nappeja käytetään. Tämä edellyttää samalla, että vivusta pidetään kiinni koko kädellä. Tätä filosofiaa edustaa Komatsu Forest (EME-vivut, kuva 4.7) ja Ponsse (pallokahvat, Comfortkahvat, kuva 4.12). Ratkaisun etu on se, että kahvoista ei koskaan tarvitse päästää irti eikä otetta tarvitse vaihtaa, eli on helppoa ohjata monta eri toimintoa samaan



aikaan. Haittapuolena taas on, että koska kahvasta pidetään kiinni koko kädellä, käsivarsi joutuu osallistumaan kahvojen liikuttamiseen enemmän, mikä voi väsyttää koko käsivarren lihaksia.

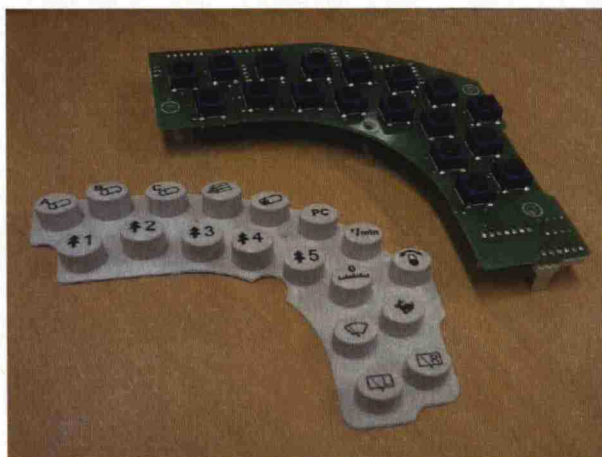
Toinen filosofia on minivivut. Minivipukonetta ohjataan pienillä joystickeilla, joista pidetään kiinni sormiotteella. Minivipujen etu on se, että niiden liikuttaminen hoituu pienillä käsiliikkeillä eikä väsytä käsivarren lihaksia. Ote on myös ilmovampi, mikä vähentää hikoilua. Minivipujen hyvyttä kuormaimen ohjaamisessa todistaa se, että käytännössä kaikki kuormatraktorit on nykyään varustettu minivivuilla.

Minivipujen ongelma on kuitenkin, miten harvesterissa voitaisiin ohjata kaikkia lisätoimintoja, kun sormet jo pitävät kiinni vivuista. Tämä on yleensä ratkaistu paletteilla, joihin ylimääräisten toimintojen painonapit on sijoitettu. John Deere edustaa tätä filosofiaa ja heidän harvestereissa kaikkia lisätoimintoja käytetään pelkästään paletteilla. Ratkaisun haittapuolena on vaikeus käyttää palettien lisätoimintoja samaan aikaan, kun itse vipuja liikutellaan, koska joudutaan väistämättä vaihtamaan otetta.

Logsetin harvestereissa on pyritty jonkinlaiseen kompromissiin. Konetta ohjataan minivivuilla, mutta niihin on vielä asennettu painonapit vipujen etupuolelle. Kaikki tarvittavat toiminnot eivät kuitenkaan mahdu vipuihin, joten osaa toiminnoista ohjataan vielä palettien napeilla.

### 6.7.2 Parannuskohtia

Asiakaskyselyn perusteella voidaan todeta, että nykyiset asiakkaat ovat tyytyväisiä minivipuihin. Palettien napit saivat kuitenkin kritiikkiä. Nappien sijoitus ei ole optimaalinen ja niiden käyttö on raskasta.

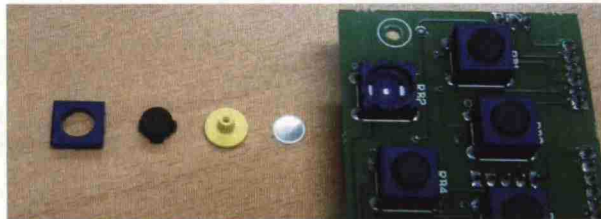


Kuva 6.35: Paletissa käytetty silikonimatto ja piirilevy kytkimiseen

Paletit koostuvat muovikuoresta, johon painonappien reiät on jyrsitty. Painonapit koostuvat yhtenäisestä valetusta silikonimatosta ja maton alla on sähkökytkimet, jotka on juotettu piirilevyyn (kuva 6.35). Silikoninappi on muotoiltu siten, että sitä

painettaessa napin ulkokuori joustaa ja napin sisälle muotoiltu jäykähkö varsi painaa alla olevaa katkaisijaa. Ongelmat nappien käytössä johtuvat osittain silikoninappien pehmeydestä, nimittäin kun nappia ei paineta suoraan ylhäältä, se painautuu reiän reunaa vasten, mikä lisää kitkaa. Reikien on tarkoitus olla sopivan tiukat, jotta väliin ei mahtuisi roskaa, mutta käytännössä väleihin menee kuitenkin roskaa, mikä vielä pahentaa tilannetta. Nappien ovaali muoto ei myöskään ole joustavuudeltaan optimaalinen.

Suurin ongelma on kuitenkin itse kytkimissä. Kytkimet ovat sinänsä raskaita ja vaativat suuren voiman. Toinen ongelma on huono tunnokkuus, sillä katkaisijan sisällä oleva joustava väliosa (kuva 6.36) aiheuttaa ei-toivottua joustoa napin käyttäytymiseen.



Kuva 6.36: Paletissa käytetty nappi purettuna, vasemmasta oikealle: kuori, painonappi, joustava väliosa ja jousi

Toinen hallintalaitteissa ilmennyt ongelma on potentiometrien sijoitus. Nykyisessä paikassa niihin koskee helposti vahingossa, joten suojatumpi paikka niille olisi toivottava. Istuimen käännon kytkin on myös ongelmallinen, koska se ei kuormatraktorissa kestä jatkuvaa käyttöä istuinta käännettäessä. Sillekin kannattaisi löytää parempi kytkintyyppi.

Monet ovat myös huomauttaneet, että kun kädet ovat käsinojilla, kämmenten luonnollinen asento ei ole pystysuora, eikä myöskään vaakasuora, vaan jotakin siltä väliltä. Tämän takia joystickien asento saisi mielellään olla vähän sisäänpäin nojaava, jotta käsien asento olisi rennompi. Tätä on jo sovellettu esimerkiksi John Deeren paleteissa ja Komatsun uusissa kuormatraktoripaleteissa.

### 6.7.3 Eri näppäintekniikoita

Painonapeilta vaaditaan pienen painamiseen tarvittavan voiman lisäksi pitkää kestoikää. Suuntaa antava arvo kestojälle saadaan, jos oletetaan, että kuljettaja kaataa 150 puuta tunnissa ja painaa sahan nappia keskimäärin viisi kertaa per runko. Jos koneella ajetaan 10 000 tuntia, tämä tarkoittaisi 7,5 miljoonaa sahanapin painallusta [90].

Yksi vaihtoehto painonapeille olisi kosketusnappien, kosketuslevyn tai kosketusnäytön käyttö. Kuljettajat ovat kuitenkin sanoneet, että he haluavat perinteisten nappien tuntuman, joten kosketustekniikoita ei tutkita lähemmin tässä tapauksessa.

Periaatteessa olisi mahdollista käyttää paleteissa mekaanisia kytkimiä, mutta ne



vievät paljon tilaa, ja symbolien painaminen niihin voi olla hankalaa. Johdotus voisi silloin myös olla aika sekava, jos 20 vierekkäisestä kytkimestä kulkevat omat johdot. Mekaanisten kytkinten elinikä on sen lisäksi yleensä vain 10 000 - 1 000 000 painallusta [91] [92] [93].

Useimmat pienet painokytkimet perustuvat pieneen jousilevyyn, joka lommahtaa, kun nappia painetaan. Tällaiset napit voidaan tehdä pieniksi ja ne on usein tarkoitettu kiinnitettäväksi suoraan piirilevyihin. Näitä nappeja löytyy erittäin paljon, monelta eri valmistajalta ja niissä on myös eroja tuntuman ja kestoian suhteen. Logsetin nykyisten palettien kytkimet edustavat tätä ryhmää. Harvesterijoystickeissä olevat painonapit toimivat myös samalla periaatteella, ja niiden tuntuma on paljon kevyempi. Kun tutkii eri valmistajien kytkimiä nähdään, että tämän tyyppin kytkimille luvataan yleensä 500 000 - 1 000 000 painallusta, mutta esimerkiksi valmistaja Alps lupaa yhdelle kytkinmallille (kuva 6.37) 10 000 000 syklin elinikää [94].



Kuva 6.37: Painonappi, jolle valmistaja lupaa 10 miljoonan painalluksen keston (kuva Alps)

Mikrokytkin-sanalla tarkoitetaan yleensä sellaista kytkintä, jossa pieni ulkoinen liike aiheuttaa sisällä olevalle kytkinelementille suuren ja selkeän liikkeen, joka vaihtaa kytkimen tilaa. Mikrokytkimille on ominaista pieni voimantarve ja niitä käytetään siksi yleensä rajakytkiminä, jotka eivät häiritse rajattavan koneen toimintaa. Rakenteensa takia ne vaativat kuitenkin aina jonkin verran tilaa. Mikrokytkimillä on yleensä pitkä elinikä, jopa 10 miljoonaa painallusta [95] [96]. Liiankin pieni voimantarve voi tarkoittaa, että ne eivät tarjoa riittävän hyvää tuntumaa käyttöliittymänapeille.

Tietokonenäppäimistö perustuvat yleisesti kumiseen kalvoon, jossa jokaisen napin alla on kalvoon muotoiltu kupu. Kun nappia painetaan, kupu romahtaa ja painaa alla olevat kerrokset yhteen, jotta oikosulku syntyy. Kannettavissa tietokoneissa näppäimistö perustuu usein samaan periaatteeseen, mutta nappeihin on vielä lisätty liikettä ohjaavia saksimekanismeja. Kalleimmissa näppäimistöissä on erilliset kytkimet jokaiselle näppäimelle. Tällainen näppäinkytkin (kuva 6.38) voisi olla vaihtoehto harvesterin paletteihin, sillä näppäimistökytkimet on suunniteltu tunnokkaiksi ja kestäviksi, kestoikä voi olla jopa 50 miljoonaa painallusta. [97]

Kalvonäppäimistö olisi myös vaihtoehto paletteihin. Kalvonäppäimistö (kuva 6.39) koostuu alakalvosta, jossa on sähköjohteita ja yläkalvosta, jossa on nappien painettavat pinnat. Yläkalvoon on nappien kohdalle muotoiltu napin muotoinen kohoama, ja sen alta löytyy vielä pieni jousi, joka antaa napille nakshtavan tunnon. Kun nappia painaa, jousi antaa periksi ja luo oikosulun alakalvon johteisiin. Kalvonäppäinten etuihin kuuluu ennen kaikkea yksinkertaisuus, sillä näppäimistö muo-



Kuva 6.38: Tietokonenäppäimistön kytkin (kuva Cherry, ZF Electronics)

dostaa yhtenäisen, muutaman millimetrin paksuisen osan, joka samalla voi toimia jonkin laitteen käyttöpaneelina. Yläkalvon taustapuolelle, suojassa kulumiselta, painetaan paneelin kuviointi ja nappien symbolit. Kalvonäppäimistö on omimmillaan kun tilaa on vähän ja vaaditaan hyvä puhtaanapysyvyys ja puhdistettavuus. [98]



Kuva 6.39: Esimerkki kalvonäppäimistöstä vasemmalla, oikealla lähikuva näppäimistön alakalvosta jousineen (kuva Screen House)

Kalvonäppäimistön muoto on vapaasti räätälöitävissä, ja erijäykkyyksillä jousilla voidaan valita nappien raskaus. Kalvonäppäinten suurin haittapuoli harvesterikäytössä olisi varmaan tunnottomuus. Koska kalvonappi on niin ohut, nappi liikkuu hyvin vähän sitä painettaessa, ja yläkalvossa käytetty materiaali ei välttämättä ole kovin miellyttävän tuntuista sormille. Vielä toinen ongelma on rajoitetut mahdollisuudet muotoilla nappien pintoja nappien tunnistettavuuden parantamiseksi. Jousivalmistaja takaa napeille miljoonan painalluksen keston, vaikka joskus jopa 5 miljoonaa painallusta on testattu. [98]

#### 6.7.4 Muutosmahdollisuuksia

Yksinkertaisin vaihtoehto parantaa harvesterin käyttöliittymää olisi jatkossakin käyttää samoja hallintalaitteita kuin nykyisin, mutta että palettien kytkimet vaihdettaisiin esimerkiksi kuvan 6.37 esittämiin kytkimiin. Muuten, jos resursseja löytyy, voisi olla syytä kehittää täysin uusia hallintalaitteita.

Ensimmäinen asia, joka tulee mieleen harvestereiden hallintalaitteista, on nappien ja kytkinten suuri määrä. Tähän vaikuttaa sekä se, että hakkuutyössä on monta ohjattavaa toimintoa, mutta myös se, että muutkin toiminnot kuin vain hakkuutyön toiminnot on sijoitettu nykyisiin paletteihin.



Automaailmassa puhutaan primääri-, sekundääri- ja tertiääritoiminnoista. Auton ohjaaminen on primääritoiminto, valot, vilkut ja tuulilasinpyyhkijät kuuluvat sekundääritoimintoihin, ja tertiääritoimintoja edustavat esimerkiksi lämpötilasäätö ja radio [99]. Harvesterin tapauksessa koneen ja harvesteripään ohjaus voitaisiin lukea primääritoiminnoiksi. Selkeämpi jako primääri- ja sekundääritoimintojen välillä tekisi harvesterikäyttöliittymästä selkeämmän ja helpomman oppia käyttämään. Hyvä esimerkki tästä on John Deeren paletit, joissa on erillinen paneeli sekundääritoiminnoille.

Sekundääritoiminnot voitaisiin periaatteessa sijoittaa muualle kuin paletteihin, mutta koska ne Logsetin tapauksessa ohjataan koneen ohjausjärjestelmän kautta, helpointa on sijoittaa ne muiden toimintojen lähelle, jolloin kommunikointi onnistuu samojen komponenttien kautta. Valmistusteknisesti helpottaa myös, että kaikki kytkimet on koottu yhteen paikkaan ja että ei tarvitse suunnitella ja valmistaa monta eri kytkinpaneelia.

Käyttöliittymän selkeyttäminen vähentämällä hakkuutyön nappien määrää ei välttämättä ole hyvä idea. Syitä tähän on monta. Fiksusta tietokoneohjauksesta huolimatta on vielä paljon sellaista, mitä kuljettajan pitää työn aikana kertoa koneelle, ja valintoja mitä pitää tehdä. Suuri määrä valintanappeja olisi periaatteessa korvattavissa parilla selausnapilla ja kuittausnapilla, mutta oikean vaihtoehdon valitseminen valikkoselauksen kautta on väistämättä hitaampaa kuin oikean vaihtoehdon valitseminen suoraan yhdellä painalluksella.

Toinen tapa tulla toimeen vähemmillä napeilla on näppäinyhdistelmien käyttö, eli että lisää toimintoja tulee käytettäväksi kun kahta tai useampaa nappia painetaan samaan aikaan. Tämä on jo nykyisessä harvesterissa käytössä, sillä siinä pääsee shift-napin kautta käsiksi puulajeihin ja esivalintapituuksiin vipujen napeista. Näppäinyhdistelmien käyttö ei kuitenkaan ole kovin intuitiivista, ja niiden oppiminen voi olla vaikeaa, joten niitä kannattaa lähinnä käyttää lisätoiminnallisuuksia varten. Tärkeimmille toiminnoille kannattaa jatkossakin varata omat näppäimet.

Hyvä kommentti muotoilija Heikki Koivurovalta on se, että sormien suuntavaisto on parempi kuin paikkavaisto, eli sormeja on helppo liikuttaa tiettyyn suuntaan, mutta sormen liikuttaminen tarkkaan paikkaan siihen katsomatta on vaikeampaa. Jos nykyisten viiden nappien sijaan olisi joystickeissä kolme kappaletta neljään suuntaan liikkuvaa ja painallustoiminnolla varustettua helikopterikytkintä, olisi siinä jo 15 toimintoa, jotka olisivat helposti kolmella sormella hallittavissa. Helikopterikytkinten toiminnot eivät välttämättä ole yhtä intuitiivisia muistaa ja käyttää. Varsinkin jos on esimerkiksi viisi numeroitua puulajia peräkkäin, erilliset napit niille on todennäköisesti helpompaa oppia käyttämään. Pienten helikopterikytkinten kestoikä voi myös olla kysymysmerkki.

Äänikomennoilla olisi mahdollista vähentää nappien tarvetta, mutta äänen tunnistus on perinteisesti ollut vaikeaa saada toimimaan luotettavasti ja komentojen sanominen aamusta iltaan voi myös pitkän päällä olla raskasta. Sen lisäksi puhelinsoittojen tekeminen työn aikana vaikeutuisi, jos konetta ohjattaisiin äänikomennoilla.

Järkevintä lienee siis, että jos hallintalaitteita uudistetaan, jätetään nappien määrä ennalleen. Niiden sijoittelulla voidaan kuitenkin vaikuttaa suuresti käytettävyyteen.

Luvussa 7.3 on esitetty ehdotus täysin uudelle hallintalaiteteknille.

## 6.8 Johtopäätökset

Uuden ohjaamon lasien materiaaliksi valitaan polykarbonaatti sen hyvän kestävyiden ja muovattavuuden johdosta. Litteät polykarbonaattilasit ovat suhteellisen edullisia, mutta kaareviin muotoihin tarvitaan muotteja, jotka nostavat hintaa. Kaksoiskaarevalla polykarbonaatilla on korkeammat muottikustannukset kuin yksöiskaarevalla. Loivasti kaarevia laseja voidaan saada aikaan asentamalla litteä lasi kaarevalle kehykselle.

Sähköisesti tummennettavia laseja on olemassa, mutta vielä ei ole kehitetty sellaista tekniikkaa, joka täyttäisi metsäkoneohjaamon vaatimukset. Joudutaan siis turvautumaan aurinkoverhoihin jatkossakin. Niitä pystytään kuitenkin parantamaan nykyisestä.

Ohjaamon lujuutta voidaan nostaa käyttämällä lujempia teräksiä ja suurempia aineenvahvuuksia. Lisäämällä ohjaamoon viides pilari voidaan nostaa lujuutta vielä enemmän. Äänieristyksen puolella kannattaisi aluksi seurata kuormatraktori-ohjaamossa hyväksi todettuja menetelmiä. Aktiivinen meluntorjunta voisi lopulta tarjota hyvän mahdollisuuden saada melutason vielä alemmas.

Ohjaamoripustuksessa voisi pehmeämmät puslat olla parempia värähtelyvaimennuksen kannalta. Niitä pitää vain suunnitella siten, että ne kestävät ja että ohjaamon kiinnitys pysyy riittävän tukevana. Nykyinen vakautuva ohjaamo auttaa vähentämään sivuheilahteluja. Paineakkujen lisääminen vakautukseen pienentäisi kiihtyvyydet entisestään, mutta kallistelut kasvaisivat todennäköisesti.

Palettien raskaat napit johtuvat sekä raskaista sähkökytkimistä että ahtaissa rei'issä olevista silikoninapeista. Kytkimet ovat helposti vaihdettavissa kevyempiin, mutta hallintalaitteissa on monta muutakin parannettavaa kohdetta, minkä takia hallintalaitteisiin kannattaisi tehdä suurempi uudistus.



# Luku 7

## Konsepti

Tässä vaiheessa, kun ohjaamolle asetetut vaatimukset on selvitetty ja eri sovellettavat tekniikat on tutkittu, voidaan lähteä suunnittelemaan itse ohjaamokonseptia. Aluksi kiteytetään esitutkimuksessa esille tulleet asiat vaatimuslistaan. Seuraavaksi konsepti alkaa muodostua, kun vaihe kerrallaan päätetään ohjaamon pääpiirteistä, alkaen suurista suuntaviivoista, edeten yhä yksityiskohtaisemmalle tasolle.

### 7.1 Vaatimuslista

Seuraavaan vaatimuslistaan (taulukko 7.1) on koottu kaikki standardien asettamat vaatimukset, asiakkaiden kertomat parannuskohdat sekä muut kehitysideat, jotka ovat työn aikana tulleet esille. Vaatimukset on ryhmitelty aiheittain ja jaettu vaatimuksiin (V), jotka ehdottomasti pitää täyttää ja toiveisiin (T), jotka pyritään täyttämään.

Taulukko 7.1: Vaatimuslista

Koko	V	Mahtuu nykyiseen koneeseen, mahtuu kallistumaan, mahtuu kääntymään
	V	Ei korkeampi kuin nykyinen ohjaamo
	T	Matalampi kuljetuskorkeus
Muotoilu	V	Logsetin näköinen muotoilu, joka jatkaa alkuperäisen Titanin aloittamaa muotokieltä
	V	Alhainen ikkunalinja, kuten nykyisin
	T	Sukunäköä kuormatraktoriohjaamon kanssa
Ripustus	V	Vakiona kallistus joka suuntaan
	V	Lisävarusteena ohjaamon kääntö
Näkyvyys	V	Ohjaamon muoto optimoitu näkyvyyden kannalta
	V	Näkyvyys myös suoraan sivuille
	T	Parempi näkyvyys ylöspäin kuin nykyisessä ohjaamossa
Ovet	V	Yksi iso ja helposti avattava ovi

	V	Hätäpoistumistie toisella puolella kuin pääovi
Matkustajan istuin	V	Mukavampi matkustajan istuin kuin nykyisessä ohjaamossa
	T	Matkustaja ei häiritse kuljettajan työtä
Melu	V	Melutaso pienempi kuin nykyisessä harvesterissa
	T	Melutaso samalla tasolla kuin Logsetin kuormatraktoreissa
Aurinkosuoja	V	Luotettava toiminta
	V	Ei häiritse näkyvyyttä
	T	Ohjattavissa nousematta istuimesta
Säilytystilat	V	Tilaa ensiapupakkaukselle ja käyttöohjeille
	V	Tilaa sammuttimelle
	V	Tilaa myös pitkille mittasaksille
	V	Säilytystila terälaipoille ja ketjuille, johon pääsee ulkoa hyvin käsiksi
	V	Tilaa ruoanlämmittimelle
	T	Kylmälokero
	T	Muki- tai pulloteline
Työvalaistus	V	Ohjaamon ulkopuolella suojattua tilaa työvalaistukselle kaikkiin suuntiin
	V	Työvalot eivät heijastu ohjaamon laseihin
	V	Oksat eivät pääse tarttumaan valokruunuun
Hallintalaitteet	V	Helppokäyttöisemmät painonapit paleteissa
	T	Palettien napit paremmin sijoitettu
	T	Enemmän toimintoja vivuissa
Istuin	V	Käännettävä
	T	Automaattiset kuljettajakohtaiset säädöt
Ilmastointi	V	Automaattinen
	V	Lisää suuttimia ikkunoiden ympäri
	T	Helpommin huollettavissa kuin nykyisin
Turvarakenne	V	Täyttää ROPS-, FOPS- ja OPS-vaatimukset
	T	Ohjaamon lujuus muutettavissa alustakoneen painon mukaan
Multimedia	V	Koneen käyttöohjeet ja varaosaluettelot luettavissa digitaalisessa muodossa ohjaamossa
	V	Radio & CD
	T	Helppokäyttöisempi radion sijoitus
	T	Mahdollista liittää omat mediasovellukset radioon
	T	Antimelujärjestelmä integroituna äänentoistoon
Pyyhkijä	V	Pyyhkijät etulasissa ja sivulaseissa
	T	Etulasissa lineaaripyyhkijä
Sisustusmateriaalit	V	Samanlainen sisustus kuin Titan-kuormatraktoreissa
	V	Helposti puhdistettava ja kulutusta kestävä lattia
	V	Ei mitään kohtia, joihin voisi kerääntyä likaa ja roskaa
Elektroniikan sijoitus	V	Helppo päästä käsiksi komponentteihin

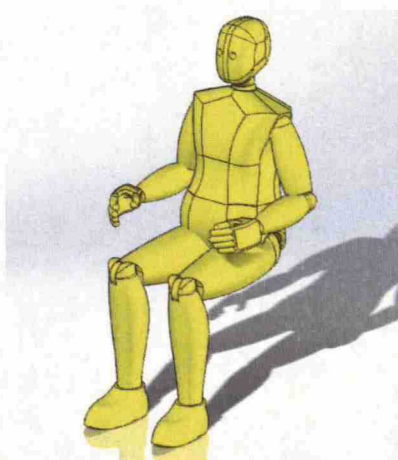


## 7.2 Ohjaamokonseptin muodostaminen

Lähteenä tälle speksausluvulle toimii lähinnä suunnittelupalaveri Logsetin tekninen johtaja Jukka Kivipellon ja muotoilija Heikki Koivurovan kanssa 25-26.10.2012. Konsepti on jatkokehitetty tästä palaverista piirtämällä ja testaamalla sekä keskustelemalla asiantuntijoiden kanssa.

Tässä luvussa ei käsitellä kaikkia hypoteettisia futuristisia vaihtoehtoja, vaan keskitytään realistiseen vaihtoehtoon, joka voisi korvata nykyisen ohjaamon parin vuoden sisällä.

Tietokonemallinnuksessa on hahmotettu kuljettajan tarvitsemaa tilaa mallintamalla testinukke (kuva 7.1) standardin ISO 3411 suurikokoisen koneenkuljettajan mittojen mukaan. Standardin suurikokoinen kuljettaja on suurempi tai yhtä suuri kuin 95 % maailman koneenkuljettajista [22].



Kuva 7.1: ISO 3411:n mukaan mallinnettu suurikokoinen koneenkuljettaja

### 7.2.1 Ohjaamon koko

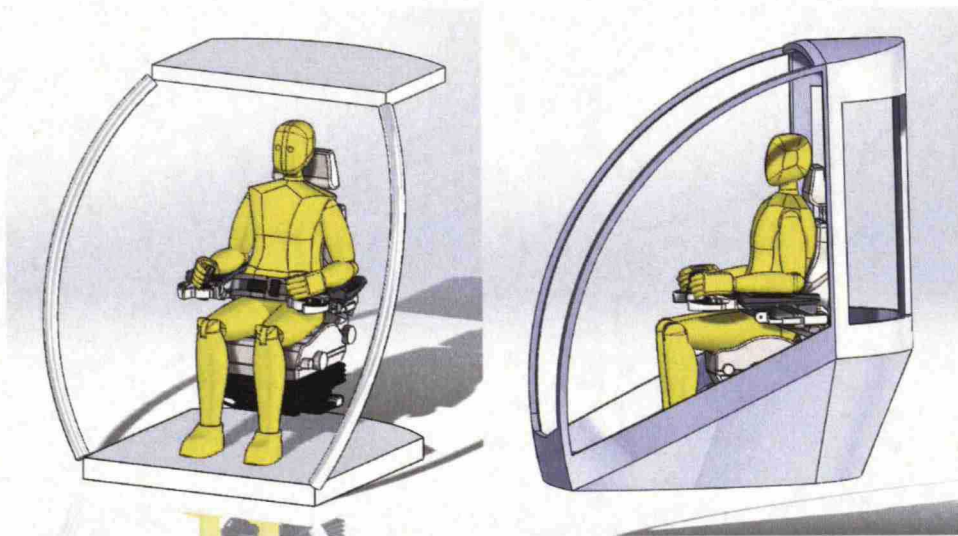
Viime vuoden aikana on tehty paljon töitä sen eteen, että on saatu harvesteriohjaamo kallistelemaan joka suuntaan ja kääntymään. Tämä on muun muassa vaatinut runkojen pidentämistä ja vakautusautomaatiikan rajoittamista tietylle alueelle. Jotta tätä työtä ei tarvitsisi tehdä uudestaan, pyritään siihen, että päämitat pysyvät samoina, eli että uusi ohjaamo mahtuu liikkumaan samalla tavalla nykyisessä rungossa. Vakausmekanismia ei lähdetä tässä projektissa muuttamaan muuta kuin ohjaamon kiinnityskorvien paikkojen osalta.

Kun ohjaamo on taaksepäin kallistettu, tilaa ohjaamon ja konepellin välissä on erittäin vähän, eli ohjaamon takasivua ei pystytä siirtämään. Edessä ohjaamon

etupilarit tulevat lähelle nosturia, jos nosturi ja ohjaamo ovat vastakkaisiin suuntiin kallistettuina samaan aikaan, kun ohjaamo kääntyy. Jos ohjaamon kokoa halutaan kasvattaa, tilaa on lähinnä leveyssuunnassa. Ohjaamon etupuolella, alhaalla, olisi myös vapaata tilaa käytettävänä. Korkeutta ei haluta kasvattaa nykyisestä, sillä kuljetuskorkeus on jo nyt kriittinen. Olisi positiivista, jos kuljetuskorkeutta pystyttäisiin pienentämään.

Uuden ohjaamon tulee siis olla aika pitkälti samankokoinen kuin nykyinen. Leveyttä voidaan muutamilla senttimetreillä kasvattaa, jos on tarve. Ohjaamon kääntö edellyttää myös, että ohjaamo on eteenpäin kapeneva, jotta etukulmat eivät törmää nosturiin.

### 7.2.2 Ohjaamon muotoilu



Kuva 7.2: Hylättyjä ideoita. Vasemmassa kuvassa etupilarit on suunnattu ulospäin, minimoimaan katvealuetta. Oikeassa kuvassa etukaarta on loivennettu antaakseen lisää jalkatilaa.

Titan-harvesteri on alansa muotoiluikoni. Logsetin uniikki muotoilu on sen verran arvokas yrityksen identiteetille, että siitä ei kannata luopua. Käytännössä tämä tarkoittaa, että uuden ohjaamon pitää pitkälti seurata vanhan ohjaamon muotoja. Tärkeät muotoiluelementit ovat yksinkertaiset geometriset muodot, ja hytin pullea etukaari. Nykyinen muoto on sinänsä myös hyvin tarkoituksenmukainen, sillä kaareva etulasi antaa hyvän näkyvyyden eteen sekä ylös ja pyöreä takaseinä mahdollistaa ohjaamon kääntöä sen ollessa kallistettuna taakse.

Piirtämällä eri vaihtoehtoja voitiin tutkia, kuinka paljon muotoa voidaan muuttaa ilman, että identiteetti katoaa. Huomattiin, että tärkein elementti nykyisessä muotoilussa on voimakkaasti kaarevat etupilarit. Jos etukaarta loivennetaan, muotoilu ei ole enää Logsetin näköinen (kuva 7.2).



Toinen idea mitä kokeiltiin piirtää oli se, että etupilareiden kaarevuus olisi suunnattu ulospäin kuljettajasta katsottuna. Tällainen asetelma minimoisi pilareiden aiheuttamaa katvealuetta. Piirrettynä huomataan kuitenkin (kuva 7.2 vasen), että ohjaamosta tulisi tällöin huomattavan leveä, eikä myöskään hyvännäköinen. Tämäkin idea hylättiin siis.

### 7.2.3 Pilarit

Nykyiseen ohjaamoon verrattuna pitäisi näkyvyyttä parantaa etenkin suoraan sivuille. Koska ohjaamon takapuoli on pyöreä, B-pilareita ei voida juurikaan siirtää taaemmas. Kaventamalla B-pilareita ja siirtämällä kuljettajaa vähäsen eteenpäin saadaan vapaa näkyvyys sivuillekin.

Samalla, kun B-pilareita haluttaisiin kaventaa, pitäisi myös saada ohjaamon lujuus nostettua korkeammalle tasolle. Ratkaisu tähän voisi olla viidennen pilarin lisääminen. Lisäämällä leveä C-pilari kuljettajan taakse saadaan paljon lujuutta lisää, eikä suoraan kuljettajan takana oleva pilari juurikaan haittaa näkyvyyttä, varsinkaan kääntyvässä ohjaamossa.

Muotoilullisesti kannattaisi sijoittaa C-pilari takalasin sisäpuolelle, eli koko takalasi olisi yhtenäisenä osana. Tällöin Logsetin oma identiteetti säilyy, eikä ohjaamo muistuta liikaa John Deeren E-sarjan ohjaamoa.

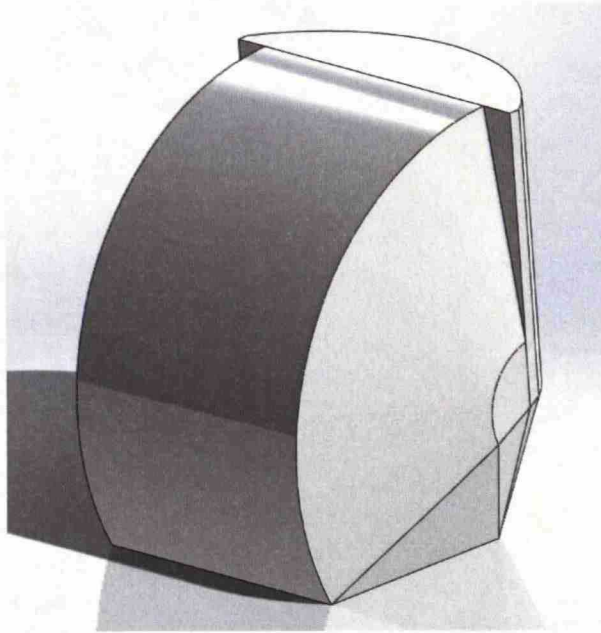
### 7.2.4 Lasit ja aurinkoverhot

Yleensä aurinkoverhot on otettu mukaan ohjaamosuunnitteluun vasta lopussa, minkä takia niitä harvoin saadaan toimimaan kunnolla. Tässä konseptissa otetaan ne mukaan alusta asti, jotta niiden toimivuus olisi optimaalinen. Sähköisesti tummennettavat lasit tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa, mutta tässä vaiheessa perinteiset aurinkoverhot ovat kuitenkin vielä paras vaihtoehto.

Jos halutaan aurinkoverhojen pystyvän peittämään lasit täysin, lasien pitää olla tasalevyisiä tai jatkuvasti kapenevia. Jos halutaan, että verhot seuraisivat kiskoja pilareita pitkin, mikä olisi helpoin tapa saada verhot seuraamaan kaarevaa lasia, lasien reunojen tulee olla yhdensuuntaiset.

Kuvassa 7.3 näkyy perusmuoto, jossa etu-, taka- ja sivulasit täyttävät ennenmainitut ehdot. Etu- ja takalasi ovat lieriöpintoja, kun taas sivulasit ovat kartiopintoja. Sivulasien kaarevuus on polykarbonaatin kylmän taivutuksen rajojen sisällä, eli lasin taivuttaminen ei vaadi muottia, ja kaarevuus antaa tarvittavaa lisäjäykkyyttä lasipinnalle. Sivulasien verhot liikkuisivat kuvan 6.14 mukaisesti ja reunoissa olisi samanlaiset kiskot kuin etu- ja takalasisissa.

Kaikki lasipinnat ovat tässä konseptissa yksöiskaarevat. Tällöin etu- ja takalasi pystytään mahdollisesti valmistamaan samoilla muoteilla kuin nykyisinkin, ja sivulaseja voidaan taistaa ilman muotteja. Toinen etu yksöiskaarevissa laseissa on, että saadaan aurinkoverhot kulkemaan tiiviimmin laseja pitkin. Silloin pystyisi myös kiinnittämään aurinkoverhot laseja vasten alipaineen avulla.



Kuva 7.3: Uuden konseptin perusmuoto

B-pilarin muoto, jossa sivulasin kartiopinta kohtaa takalasin lieriöpinnan, näyttää aluksi eriskummalliselta, mutta se tarjoaa kuitenkin pari etua. Ensimmäinen on se, että sivulasin pyyhkijä pysyy hyvin suojassa oksilta B-pilaria vasten. Toinen on se, että ROPS-testissä sivuttaisvoima kohdistetaan katon uloimpaan kohtaan, joka tässä tapauksessa on B-pilari, jossa ohjaamo juuri on jäykimmillään. Tällä ratkaisulla vältetään toivottavasti siltä, että katto lähtee kiertymään ROPS-testin sivuttaiskuormituksessa.

### 7.2.5 Ripustus

Ohjaamon kiinnitystä suunniteltaessa kannattaisi pyrkiä siihen, että kiinnityspisteiden kuormitus on mahdollisimman tasainen, ja niiden välinen etäisyys mahdollisimman suuri. Tällöin pehmeiden puslien käyttö mahdollistuu samalla, kun kiinnityksestä tulee riittävän tukeva.

Etupuslat voidaan helposti sijoittaa ohjaamon alaetureunaan. Ohjaamon pyöreän takaosan ja kallistetun alatakaseinän takia takapuslat joudutaan todennäköisesti sijoittamaan nostettuina vyötärölinjan kohdalle. Ripustusta kannattaa myös suunnitella siten, että takapuslat pystyttäisiin korvaamaan jousilla ja Panhard-tangolla, mikäli ohjaamo haluttaisiin varustaa jousituksella.

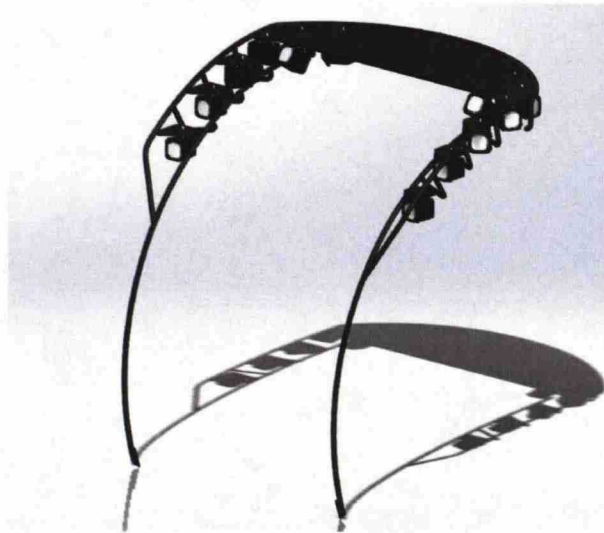
### 7.2.6 Valokruunu

Valokruunu on näyttävä osa ohjaamon ulkonäköä, mutta tärkein ominaisuus on tietenkin huolehtiminen siitä, että kuljettajalla on riittävä näkyvyys työn



suorittamiseen riippumatta vuorokauden ajasta. Nykyisessä valokruunussa on kaksi ongelmaa. Ensinnäkin etuvalot heijastuvat etulasiin. Toiseksi, Keski-Euroopan tiheissä metsissä puiden oksat tarttuvat etulasin ja valokruunun väliseen nurkkaan.

Ratkaisu tähän voisi olla valojen sijoittaminen etupilareita pitkin. Valojen suojukset ja ohjaamon etukulmissa olevat oksasuojat muodostaisivat juohevan muotoisen kokonaisuuden (kuva 7.4), joka ohjaisi oksat katon yli. Tällä sijoittelulla valot eivät myöskään pääse heijastumaan lasihin, eivätkä estä näkyvyyttä pilareiden edessä.



Kuva 7.4: Uuden konseptin valokruunu

Valokruunu ei saa nostaa kuljetuskorkeutta. Kun ohjaamo on kuljetusasennossa kallistettu taakse, tällainen pilareita pitkin menevä valokruunu olisi koneen korkein kohta. Sen takia kannattaisi valokruunussa olla saranointi, jotta se voidaan taittaa alas kuljetusta varten.

### 7.2.7 Ilmastointijärjestelmä

Ilmastointijärjestelmä on yksi ohjaamon tilaavievimmistä varusteista, joten se kannattaa ottaa mukaan suunnitteluun aikaisessa vaiheessa. Nykyisen harvesteriohjaamon ilmastointilaitteen teho on alakantissa, kun taas kuormatraktoriohjaamossa on käytössä tehokkaampi ilmastointilaitte. Kuormatraktoriohjaamon ilmastointilaitteen käyttäminen uudessa harvesteriohjaamossa toisi kaksi etua; riittävä teho varmistuu samalla, kun varastonimikkeiden määrä vähenee.

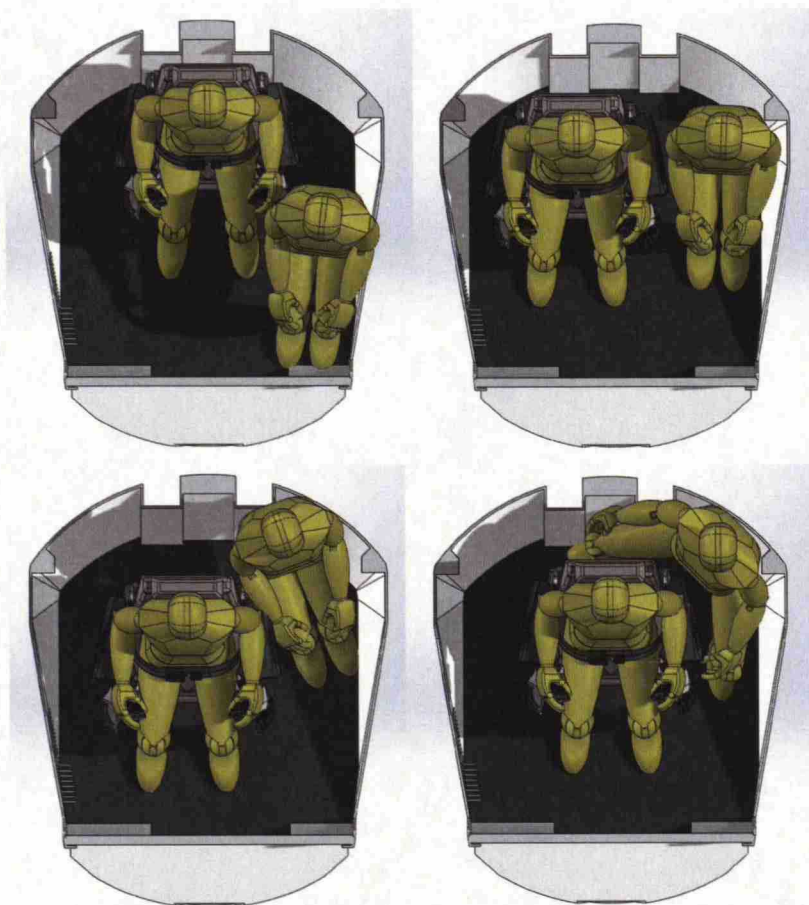
Kuormatraktoriohjaamon ilmastointilaitte on asennettava pystyasentoon, sillä kondenssiveden poistoletkut on sijoitettu sen pohjaan. Laitteen päälle tulee vielä ilmakeinavat, joista ilma virtaa ympäri ohjaamoa. Ilmastointilaitte vaatii siis huomattavan tilan pystysuunnassa, mikä yhdessä tavoitellun matalan ikkunalinjan kanssa edellyttää, että ilmastointilaitte sijoitetaan ohjaamon takakulmaan.

Ilman sisäänoton paikka on syytä valita huolellisesti. Ohjaamon takaosassa se on

altis melulle ja mahdollisesti myös pakokaasuille ja hydrauliöljyn höyryille. Sivulle sijoitettuna on riski, että melutaso nousee joka kerta, kun ohjaamo kääntyy siten, että ilman sisäänotto on taaksepäin. Tässä mielessä ohjaamon etupuoli olisi paras paikka, mutta sieltä on pitkä matka takakulmaan sijoitettuun tuulettimeen. Yksi vaihtoehto olisi sijoittaa ilman sisäänotto samalle puolelle kuin ilmastointilaite, mutta siten, että ilma kiertää meluloukun kautta.

Eräs kuljettajien kaipaama ominaisuus olisi vielä, että myös kattoon saataisiin ilmasuuttimia estämään etulasin huurtumista.

### 7.2.8 Matkustajan istuin



Kuva 7.5: Eri vaihtoehdot matkustajan istuimen sijoitukselle

Mahdollinen matkustaja vie paljon tilaa ja on otettava huomioon jo suunnittelun varhaisessa vaiheessa. Vaikka kuljettaja mieluiten tekee työtä yksin, pitää esimerkiksi koulutusta varten löytyä paikka apumiehelle. Myös myyjän on todennäköisesti helpompaa kehua konetta, jos saa istua mukavasti esitellessään konetta urakoitsijalle.

Koska ovi on vasemmalla puolella, vasen puoli on järkevä ensimmäinen valinta



matkustajan paikalle. Tarkemmalle sijoitukselle löytyy kuitenkin monta vaihtoehtoa ja kuvaan 7.5 on koottu neljä niistä. Matkustajan istuessa kuljettajan edessä, hänestä tulee huomattava näköeste ja pidemmät koulutukset käytännön työssä hankaloituvat. Matkustajan istuessa kuljettajan vieressä, kuljettajan istuin on siirrettävä oikealle. Tällöin työskentely on ahdasta ja poljinten käyttö hankalaa. Tilaa oviverhoilulle on vähäistä, jos matkustajalle halutaan jalkatilaa. Istuimen siirto oikealle ei myöskään ole mahdollista, mikäli tilaa vievä ilmastointilaite on oikeassa takakulmassa.

Matkustajalle ei riitä tilaa istua suoraan kuljettajan takana. Sen sijaan matkustaja voisi istua vasemmassa takakulmassa, kuljettajan istuin jalkojensa välissä. Pääsy takakulmaan ja sieltä pois edellyttää varmasti, että kuljettajan istuin siirretään eteen, mutta kun matkustaja kerran on päässyt takakulmaan, hän voi istua rennosti eikä vie ylimääräistä tilaa. Tällä tavalla kuljettajan takana istuva matkustaja ei häiritse kuljettajan työtä ja kiinteän matkustajanistuimen alle mahtuisi runsaasti säilytystilaa.

### 7.2.9 Sisätila

Ikkunoiden muoto ja ilmastointijärjestelmän layout määräävät pitkälti sisätilan muodon (kuva 7.6). Sisäpintojen materiaaliksi valitaan sama laadukas integraaliuretaani, jota on käytetty Logsetin kuormatraktoriohjaamossa ja kattoon tulee todennäköisesti perinteinen huopaverhoilu.



Kuva 7.6: Renderöinti uuden ohjaamokonseptin sisätilasta

Koska ohjaamoon kuljetaan normaalisti ainoastaan vasemmalta puolelta, oikean oven eteen voidaan sijoittaa kiinteä sivukonsoli. Sivukonsoli ei häiritse oikean oven toimintaa hätäpoistumistienä. Kiinteä konsoli tarjoaa paljon tilaa ilmastoinnin ilmakehille, ilmastointiletkuille, johdotukselle ja niin edelleen.

Matala ikkunalinja on Logsetin muotoilun tärkeimpiä ominaisuuksia, eikä sitä kannata haaskata rakentamalla korkeita konsoleja ikkunoiden eteen. Pitää kuitenkin muistaa, että kuljettajan silmät ovat sen verran korkealla, että konsoleja voidaan tehdä korkeammiksi kuin ikkunoiden alalinja edellyttäen, että konsolin ulkosivu on viistetty alaspäin.

Alhaalle menevä etulasi on myös tärkeä ominaisuus, joten samanlainen etukonsoli kuin muiden merkkien harvestereissa ei ole mahdollinen. Ohjaamon lujuus vaatii todennäköisesti etulasiaukkoon poikkipalkin, jolloin tämä tarjoaa luonnollisen kiinnityspaikan näytölle. Jotta etulasin huurteenestoa voitaisiin varmistaa entistäkin paremmin, etulasin poikkipalkin verhoiluun voitaisiin integroida ilmakehä ja etulasin ilmasuuttimet. Poikkipalkkiverhoiluun menevä ilmakehä voisi kulkea etupilaria pitkin, jolloin saadaan toimiva kokonaisuus, joka ei haittaa näkyvyyttä.

Nykyiset lattiaan kiinnitetyt polkimet eivät ole järin ergonomisia. Maataloustraktoreissa suositut ylhäältä ripustetut polkimet tarjoaisivat mukavamman toiminnan. Koska kaasupoljin on täysin sähköinen ja jarruventtiilin ohjaus voitaisiin hoitaa esimerkiksi vaijerin kautta, poljinten muuttaminen ei liene ongelma. Uusi poljinriipustus mahdollistaisi myös poljinten pituussuuntaisen siirrettävyyden. Silloin kuljettaja voisi siirtää istuinta sen mukaan, missä kohdassa ohjaamoa hän haluaa istua, ja säätää sen jälkeen polkimet oman pituutensa mukaan.

Lattiatilaa olisi syytä saada lisää. Silloin kuljettajan paikkaa olisi mahdollista siirtää edemmäs, mikä parantaisi sivunäkyvyyttä ja antaisi enemmän tilaa matkustajalle. Jos tehtäisiin etulasin alle etulaatikko ohjaamon osaksi, voitaisiin siihen sijoittaa etulasin alasuuttimien ilmakehävisto sekä poljinten tarvitsema vapaa tila, jolloin lattiatilaa syntyisi lisää. Ulkopuolelta etulaatikko voisi toimia tuulilasinpesunesteen säiliönä, säilytyslokerona ja huoltotasona.

Kaikki hallintalaitteet eivät mahdu istuimen paletteihin. Harvemmin käytetyt toiminnot on luontevampaa sijoittaa johonkin muualle, vaihtoehdot näille ovat käytännössä oikea sivukonsoli tai oikea B-pilari. Etu, jos niitä sijoitetaan B-pilariin, on se, että B-pilariin ei voidakaan oikeastaan sijoittaa mitään muuta kuin vain kytkimiä. Pystysuorassa pinnassa kytkimet ovat myös hyvin suojassa. Erään kuljettajan kommentti olikin, että jos kytkimiä laitetaan vaakasuoraan paneeliin, käyttäjä päätyy kuitenkin jättämään työkaluja ja muuta tavaraa kytkinpaneelin päälle.

Leveä C-pilari tarjoaa hyvän paikan elektroniikan sijoitukselle. Ison luukun kautta elektroniikkamoduuleihin olisi helppoa päästä käsiksi ja kattoon menevä johdotus voisi kulkea pilarin kautta, kuten mahdollisesti myös kattosuuttimien ilmaputki. Nykyisen ohjaamon avattava kattoluukku, johon PC ja tiedonsiirtoon tarvittavat antennit on asennettu, on sen verran toimiva, että se kannattaisi ottaa mukaan uuteenkin ohjaamoon.

Istuimen jalusta on suunniteltu siten, että sen alle mahtuisi ilmastointilaitte. Mikäli ilmastointilaitte siirretään pystyasentoon oikealle sivulle, istuimen alle muodostuisi vapaata tilaa, jota voitaisiin käyttää säilytykseen. Jos lattia on istuimen kohdalta taakse asti korkeammalla, saadaan myös parempi istuma-asento matkustajalle.



Näppäimistön nykyinen sijainti B-pilarissa ei ole optimaalinen. Jos uudessa ohjaamossa on saatu B-pilarin etupuoli taaemmas, se ei enää edes olisi toimiva vaihtoehto. Sen sijaan näppäimistö olisi sijoitettavissa esimerkiksi istuimeen kiinnitettyyn taitettavaan telineeseen. Tällöin se olisi helppo ottaa esiin, ja sillä pystyisi mukavasti kirjoittamaan molemmilla käsillä.

## 7.3 Hallintalaitteet

Hallintalaitteita olisi syytä uudistaa perinpohjaisesti. Tässä luvussa on yksi ehdotus, millaisia uudet hallintalaitteet voisivat olla.

### 7.3.1 Vivut

Koska minivivut ovat yleisiä ja suosittuja ohjaimia, ne valittiin lähtökohdaksi uudelle hallintalaittekonseptille. Monen kuljettajan harras toive on kuitenkin ollut, että kaikki hakkuutyön toiminnot saataisiin keskitettyä vipuihin. Tästä syntyi idea laajentaa vipuja, jotta niihin mahtuisi enemmän nappeja. Eri vaihtoehtoja piirrettiin ja kokeiltiin veistää vaahtomuovista, kunnes sopiva muoto löytyi muovailuvahamallista (kuva 7.7). Pääideana on, että itse vipu olisi suurin piirtein samankokoinen kuin nykyiset vivut, mutta vivun etupuolelle tulisi kaari, johon noin kahdeksan nappia mahtuisi ilman, että tulee liian ahdasta. Kaaren takapuolella olisi myös paikka yhdelle peukalonapille. Lisää toimintoja saadaan vielä mahtumaan vaihtamalla vivun etupuolen keskimäinen nappi neljään suuntaan liikkuvaan sekä painallustoiminnolla varustettuun helikopterikytkimeen. Monelta tuli kommentti, että kaariosan pitäisi olla erillisenä osana, jotta sen saisi helpommin sopimaan eri kuljettajille, joilla on erikokoiset kädet.



Kuva 7.7: Vipumuotoilun kehitys. Vasemmalla ensimmäinen CAD-luonnos, keskellä vaahtomuovista veistetty malli siitä, ja oikealla muovailuvahasta jatkokehitetty malli

Yhdessä Logsetin testikuljettaja Kari Kankaan kanssa suunniteltiin, miten eri toimintoja voitaisiin sijoittaa uusiin kahvoihin (kuva 7.8). Tässä konseptissa kaikki hakkuutyössä tarvittavat toiminnot olisivat kahvoissa, jotta ajon aikana ei tarvitsisi irrottaa otetta. Myös ajosuunnan valinta ja runko-ohjaus voitaisiin sijoittaa



Kuva 7.8: Uuden hallintalaitekonceptin joystickit ja esimerkit niihin sijoitettavista toiminnoista

vipuihin, mikä tehostaisi työntekoa erityisesti harvennuksissa, joissa joudutaan usein ohjaamaan kuormainta ja alustakonetta samaan aikaan. Kaaren peukalonappi mahdollistaisi täysin uuden sekvenssitoiminnon, joka tähän asti on puuttunut. Toinen Kankaan ehdottama idea oli, että vivun päällä olisi toinen helikopterikytkin, jolla hakkuutietoja pystyisi jälkeenpäin korjaamaan.



### 7.3.2 Paletit

Vaikka kaikki tärkeimmät toiminnot on saatu mahtumaan vipuihin, tarvitaan vielä paikka sekundääritoiminnoille. Nykyisiä paletteja ei ole mahdollista käyttää tämän konseptin vipujen kanssa, koska vipuihin lisätty kaari vaatii paljon vapaata tilaa vivun edessä, kun vipu liikkuu. Uusia paletteja olisi siis pakko kehittää. Tässä vaiheessa muistettava suunnitteluvaatimus on se, että samoja paletteja pitäisi pystyä käyttämään kuormatraktoreissakin, kustannusten rajoittamiseksi. Koska kuormatraktoreissa pelkistetyt minivivut ilman lisänappeja riittävät kuormaamiseen, pitää paleteista löytyä kaikki muut toiminnot, joita kuormatraktorissakin tarvitaan.



Kuva 7.9: Uudet paletit. Nappien suunnitellut toiminnot käyvät ilmi symboleista

Kuvassa 7.9 näkyy ehdotus, miltä uudet paletit voisivat näyttää. Päämuoto määräytyy sen mukaan, että uudenlaisten vipujen edessä pitää olla riittävästi tyhjää tilaa, jotta ne mahtuvat liikkumaan. Palettien yläpinta on muotoiltu kaarevaksi, jotta voitaisiin rennosti painaa nappeja sormenpäiden alapuolilla ja vipujen asento on sisäänpäin nojaava, mikä myös tarjoaa luonnollisemman asennon käsille.

Paleteissa on tehty selkeä tehtävänjako. Vasempaan palettiin on keskitetty kaikki ajoon liittyvät toiminnot, kuten runko-ohjaus, ajosuunta ja voimansiirron valinnat. Runko-ohjauksen vipu ja ajosuunnan valinta on pyritty sijoittamaan mukavasti mahdollisimman lähelle kuormaimen vipua. Oikeaan palettiin on sijoitettu kaikki muut tarvittavat toiminnot, eli valot, pyyhkijät, valikko ja niin edelleen. Vasemman peukalon kohdalta löytyy istuimen kääntö, joka on kuormatraktorissa erittäin paljon käytetty kytin, ja oikean peukalon kohdalta löytyy kuormaimen aktivointi. Nosturinopeus- ja ajonopeuspotentiometrit on sijoitettu suurin piirtein samaan paikkaan kuin nykyisissä paleteissa, mutta sijoitus on sisempänä, jotta ne olisivat suojatummassa paikassa ja potentiometripyörän koko on pienempi, jotta sen pyörittäminen olisi nopeampaa. Näyttävä yksityiskohta olisi, jos joystickien perustan ympärille lisättäisiin Logsetin liilansävyistä valaistusta.

Vipujen napit kannattaisi todennäköisesti valita piirilevytyyppisiksi, jotta johdotus olisi yksinkertaista. Löytyy myös piirilevynappeja, joilla on riittävän hyvä kestoikä ja pieni voimantarve. Kytkinten päälle voisi laittaa vastaavanlaisen silikonimaton kuin nykyisissä paleteissa, jotta tuntuma olisi sormille mieltäisempi. Silikonimattoon kannattaisi vielä muotoilla pienet näppylät, jotta nappeja tunnistaisi helpommin sormilla. Vastaavanlainen piirilevy- ja silikonimattoyhdistelmä olisi myös järkevä oikean paletin nappeihin. Niissä taustavalaistus olisi tärkeä ominaisuus, koska niitä ei käytetä niin paljon, että sormet löytäisivät ne lihasmuistin avulla. Vasemmassa paletissa nappien määrä on pienempi, joten siinä olisi yksinkertaisinta käyttää erillisiä mekaanisia kytkimiä. Taustavalaistus olisi tärkeä siinäkin, joko kytkimissä tai kytkinten vieressä, mikäli symbolit sijoitetaan viereen.

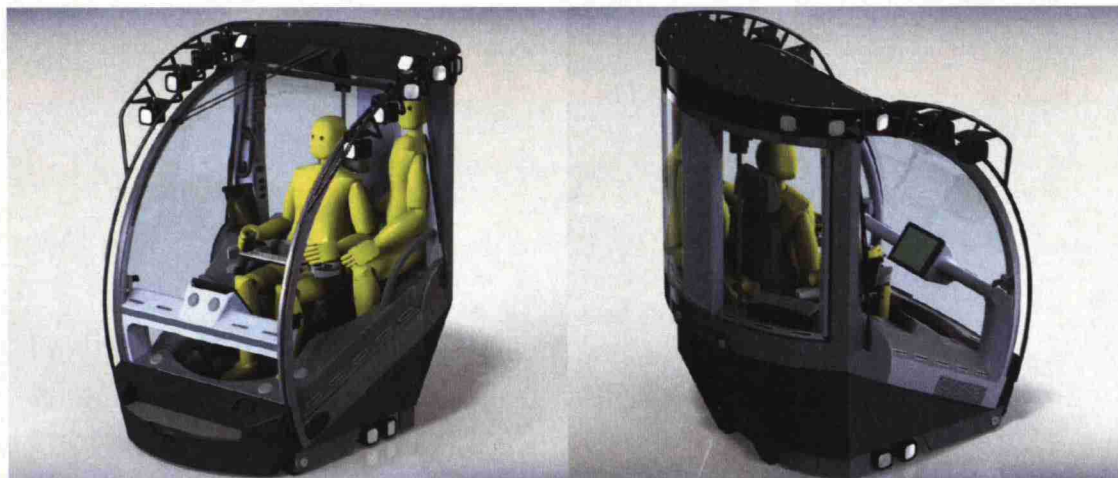
Kuljettajilta tuli myös ehdotus, että voisiko toisessa paletissa olla integroitu Qwerty-näppäimistö. Jos paletissa olisi oma näppäimistö, lukuarvojen ja tekstien syöttäminen harvesterin mittalaitteelle helpottuisi. Oman näppäimistön tekeminen olisi todennäköisesti kallis vaihtoehto, ja nappeja lukevalla kontrollerilla ei todennäköisesti riittäisi inputteja kaikkien nappien lukemiseen. Vaihtoehtona olisi pienen valmiin näppäimistön integroiminen palettiin. Tällöin saman näppäimistön liittäminen sekä ohjausjärjestelmään että PC:hen olisi kuitenkin ongelma, jos ei haluta käyttää kah-  
ta näppäimistöä koneessa. Ja jos koneessa olisi vain yksi pieni näppäimistö yhdessä paletissa, pidempien sähköpostien kirjoittaminen yhden käden sormilla olisi aika h-  
dasta. Järkevintä lienee siis, että näppäimistö jätetään erilliseksi osaksi, joka olisi mahdollisimman ergonomisesti sijoitettavissa silloin, kun sitä käytetään. Paletteihin voisi mahdollisesti sijoittaa numeronäppäimistön, joka helpottaisi asetusarvojen syöttöä, mutta siitäkin on eri mielipiteitä, tarvitaanko sellaista. [100]

## 7.4 Johtopäätökset

Kuvassa 7.10 näkyy renderöinti uudesta ohjaamosta kokonaisuudessaan. Ohjaamo on selvästi Logsetin näköinen, mutta valokruunu ja sivulasien kartiopinnat antavat omaa identiteettiä uudelle ohjaamolle. Sisäpuolella koko sisusta on muuttunut nykyiseen verrattuna.

Hallintalaitteita on monenlaisia ja kaikilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Tässä työssä esitetty konsepti on yksi potentiaalinen ratkaisu, joka tarjoaisi monta etua nykyisiin verrattuna. Niistä tehtiin vielä prototyyppi (kuva 7.11) 3D-tulostamalla Aalto-yliopiston digitaalisen suunnittelun ja valmistuksen laboratoriossa, ADDLAB. Prototyypistä voitiin todeta, että muotoilussa ja nappien tarkemmassa sijoittelussa on vielä vähän parannettavaa, mutta muuten asiantuntijoiden kommentit ovat olleet positiivisia.





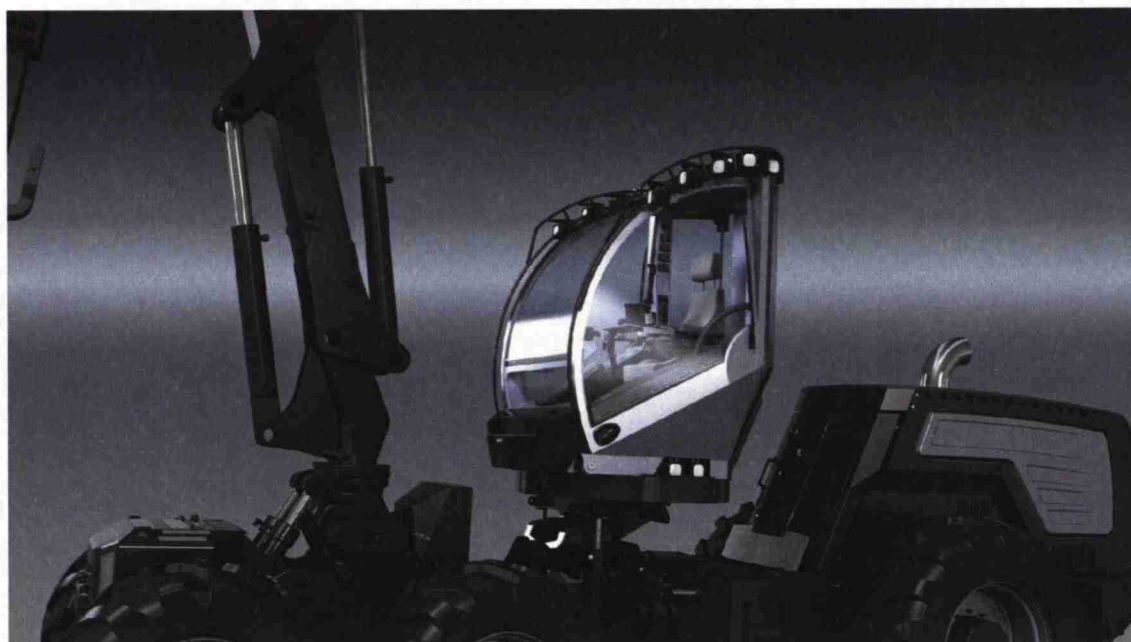
Kuva 7.10: Renderöinti uudesta ohjaamosta



Kuva 7.11: Aalto-yliopiston ADDLAB:ssa 3D-tulostettu prototyyppi uudesta hallintalaitetekseptistä

## Luku 8

# Yhteenvedo



Kuva 8.1: Renderöinti, miltä Logset 8H -harvesteri voisi näyttää parin vuoden sisällä

Logsetin Titan -harvesterisarja on muilta osin jo uudistettu ja seuraavaksi vuorossa on ohjaamo. Titan-harvesteri on kuitenkin monelta osin uniikki ja suuri osa Logsetin identiteetistä on rakennettu sen pohjalle, joten uudistaminen pitää tehdä varovasti, sukujuuria kunnioittaen. Kuvassa 8.1 näkyvä ehdotus onkin edeltäjänsä näköinen, vaikka muutoksiakin on tullut.

Tuotekehitysprosessi on salmiakin muotoinen. Lähdetään liikkeelle yhdestä pisteestä, ja ideointivaiheessa kehitystä voi tapahtua kaikkiin suuntiin. Suunnittelun edetessä huomataan kuitenkin, että villeimmät ideat eivät ole toteutettavissa ja päädytään lopulta pisteeseen, joka muistuttaa lähtötilaa, mutta kuitenkin on askeleen edempänä.

Titan-harvesteriohjaamon tapauksessa lähtökohdat ovat hyvät. Ohjaamon ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa matala ikkunalinja, hyvä näkyvyys kaikkiin suun-



tiin ja yksinkertaisen tyylikäs geometrinen muotoilu. Parantamalla huomattut puutteet saadaan samanhenkinen ohjaamo, joka olisi ominaisuuksiltaan kuitenkin toista luokkaa.

Ohjaamon rakenteen suurin muutos olisi B-pilareiden kaventaminen, jotta sivunäkyvyys olisi parempi. Samalla pitäisi varmistaa, että ohjaamo täyttää 30 tonnin alustakoneen lujusvaatimukset. Tämä tarkoittaa todennäköisesti, että kuljettajan taakse pitää sijoittaa leveä C-pilari. Ohjaamon kokoa ei pystytä juurikaan kasvattamaan, mutta B-pilareita pienentämällä, sekä rungon että sisustuksen puolelta, ja lattiatilaa kasvattamalla pituussuunnassa saadaan lisää tilan tuntua.

Lasivalinnassa on syytä varustaa kaikki ikkunat polykarbonaattilaseilla, jotta kestävyys on varma. Suunnittelemalla kaarevia lasipintoja saadaan niihin lisää jäykkyyttä, mikä osittain kompensoi polykarbonaatin pientä materiaalijäykkyyttä. Ottamalla vielä aurinkoverhot mukaan suunnitteluun alusta asti, voidaan saada markkinoiden toimivin aurinkosuojaratkaisu.

Äänieristyksen ja sisustuksen osalta kannattaa seurata Logsetin kuormatraktori-ohjaamon jalanjälkiä. Kuormatraktori-ohjaamon sisustus on erittäin laadukkaan tuntuinen ja samalla sekä toimiva että kestävä. Kuormatraktorissa on myös varattu tilaa paksuille äänieristeille kaikilla metallipinnoilla.

On hyvin mahdollista, että tulevaisuudessa kuormatraktoreihinkin tulee pyörivä ja kallistuva ohjaamo. Tällöin harvesterin kääntyvä ohjaamo olisi luonnollinen vaihtoehto siihen, eli mahdollinen käyttö kuormatraktoreissakin kannattaisi pitää mielessä harvesteriohjaamoa suunniteltaessa. Kuormatraktorissa ohjaamon tila on hyvin rajoittunut, eli on eduksi, jos ohjaamon ulkomitat olisivat pienet. Muuten ei ole suurempia esteitä harvesteriohjaamon käytölle kuormatraktorissa. Suurin haaste on kääntölaite ja letkutus, sillä kuormatraktorissa tarvittaisiin yli 200° kääntökulma.

Tässä työssä esitetyn esitutkimuksen jälkeen seuraava vaihe on tarkempi speksaus ohjaamon tarkkojen mittojen ja ominaisuuksien suhteen, minkä jälkeen seuraa rakenteen suunnittelu. Tärkeää siinä on tiivis yhteistyö lujuslaskennan kanssa, jotta saadaan hyvin optimoitu rakenne. Kun rakenteen muoto on tiedossa, kannattaa rakentaa prototyyppi 1:1 mittakaavassa, jossa voidaan varmistaa rakenteen toimivuus ja kokea, miltä oikeasti tuntuisi istua ohjaamossa. Tällöin voidaan verifioida, onko ohjaamossa sitä oikeaa tilan tunnetta ja kokeilla hallintalaitteiden sijoittelua tarkemmin. Verhoiluosien suunnittelu on lopuksi oma lukunsa, joka varmasti vie aikaa. Sähkösuunnittelijat pitää vielä muistaa ottaa mukaan suunnitteluun riittävän aikaisin, jotta komponenttien sijoitus ja johdotus saadaan järkeväksi ja uuteen ohjaamoon saadaan oikeat johto- ja letkusarjat ajoissa.

Hallintalaitteiden uudistaminen on iso projekti, joka periaatteessa voidaan suorittaa erikseen ohjaamoprojektista joko sitä ennen, sen jälkeen, tai samaan aikaan. Markkinoinnin kannalta olisi tietenkin iso asia, jos uusia hallintalaitteita voitaisiin esitellä uuden ohjaamon yhteydessä. Hallintalaitteiden suunnittelu on pienelle valmistajalle kallista, koska tarvitaan jatkuvaa prototypointia, ja muoviosien valmistuksessa on korkeat muottikustannukset.

# Kirjallisuutta

- [1] Hydrolink Scanblack -esite. Saatavissa: <http://www.hydrolink.com/homepage/scanblacktuotteet.php>. Viitattu 27.8.2012
- [2] Stén, K. Logset 1992-2012 Sitkeys voittaa. Mustasaari, 2012. 60 s. ISBN 978-952-93-1036-4.
- [3] Uusitalo, J. Metsäteknologian perusteet. Tampere, 2003. 230 s. ISBN 952-5118-58-4.
- [4] SFS 2940 KONETURVALLISUUS, METSÄTRAKTORIT JA HAKKUUKONEET. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 1990. 15 s.
- [5] Kärhä, K., Rieppo, K., Poikela, A. Korjuri ainespuun korjuussa. Metsäteho Oy, 2007. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja\\_2007\\_18.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2007_18.pdf). Viitattu 19.6.2012.
- [6] SFS 5090 METSÄTRAKTORIT. PUUTAVARAKUORMAIMET, HALLINTAVIPUJEN JÄRJESTYS. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 1985. 3 s.
- [7] Haastattelu, Logsetin ohjaamoasentaja Janne Vuorela, 6.6.2012.
- [8] Karjalainen, M. Hieman akustiikkaa. Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 2000. 54 s.
- [9] Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. Geprüfte Kranvollerner. Saatavissa: <http://www.kwf-online.de/deutsch/pruef/pruefergebnisse/aasm/kranvollerner/index.htm>. Viitattu 18.10.2012.
- [10] Miljardin euron bisnes. Metsälehti 16/2012, s. 20-21.
- [11] Metsätrans-Lehti nro. 3/2008. Vaasa, 2008.
- [12] Five decades of forestry effectiveness. Komatsu Forest, 2011. Saatavissa: <http://www.komatsuforest50.com/>. Viitattu 18.6.2012
- [13] Siirilä, T., Pahkala, J. EU-määräysten mukainen koneiden suunnittelu. Fimtekno Oy, Helsinki, 1999. 480 s. ISBN 951-98254-0-1.
- [14] Fraser, I. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. Euroopan komissio yritys- ja teollisuustoiminta, Bryssel, 2010. 411 s.



- [15] EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2006/42/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu). Strasbourg, 2006.
- [16] Koneturvallisuuden standardit 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS, Helsinki, 2010.
- [17] Pekka Kämäräinen. Konedirektiivin ja sen soveltamisoppaan sekä standardien tehokas hyödyntäminen koneen suunnittelussa. Sosiaali- ja terveysministeriö, 2012. Saatavissa: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/palveluttuotteet/mittausjatestaus/MIS/Standardisointi/3%20Pekka%20K%C3%A4m%C3%A4r%C3%A4inen%20Soveltamisopas.pdf>. Viitattu 10.7.2012.
- [18] Standardi SFS-EN ISO 12100. KONETURVALLISUUS. YLEISET SUUNNITTELUPERIAATTEET, RISKIN ARVIOINTI JA RISKIN PIENENTÄMINEN. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2010. 172 s.
- [19] Anttila, S. Konedirektiivin vaikutus metsäkoneiden suunnitteluun. Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1995. 84 s.
- [20] EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2003/37/EY, annettu 26 päivänä toukokuuta 2003, maatalous- tai metsätraktoreiden, niiden perävaunujen ja vedettävien vaihdettavissa olevien koneiden ja näihin ajoneuvoihin tarkoitettujen järjestelmien, osien ja erillisten teknisten yksiköiden tyyppihyväksynnästä sekä direktiivin 74/150/ETY kumoamisesta. Bryssel, 2003.
- [21] MTT Standardisointi. Saatavissa: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/palveluttuotteet/mittausjatestaus/MIS/Standardisointi>. Viitattu 10.7.2012.
- [22] SFS-EN ISO 3411 MAANSIIRTOKONEET. KÄYTTÄJIEN FYYSISET MITAT JA KÄYTTÄJÄN VÄHIMMÄISTILA. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2008. 30 s.
- [23] EN ISO 11850:2011 Machinery for forestry - General safety requirements (ISO 11850:2011). International Organization for Standardization, 2011. 18 s.
- [24] ISO 8082-2:2011 Self-propelled machinery for forestry – Laboratory tests and performance requirements for roll-over protective structures – Part 2: Machines having a rotating platform with a cab and boom on the platform. International Organization for Standardization, 2011. 20 s.
- [25] Standardi SFS-EN ISO 5353:1998. MAANSIIRTOKONEET, TRAKTORIT, MAATALOUS- JA METSÄKONEET. ISTUIMEN MITTAPISTEEN (SIP) MÄÄRITTÄMINEN. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 1999. 8 s.
- [26] SFS-EN ISO 3164:2008. MAANSIIRTOKONEET. SUOJARAKENTEIDEN LABORATORIOARVIOINNIT. TURVATILAN MÄÄRITTÄMINEN. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2009. 14 s.

- [27] ISO 8082-1:2009 Self-propelled machinery for forestry – Laboratory tests and performance requirements for roll-over protective structures – Part 1: General machines. International Organization for Standardization, 2009. 16 s.
- [28] ISO 8083:2006 Machinery for forestry – Falling-object protective structures (FOPS) – Laboratory tests and performance requirements. International Organization for Standardization, 2006. 9 s.
- [29] ISO 8084:2003 Machinery for forestry – Operator protective structures – Laboratory tests and performance requirements. International Organization for Standardization, 2003. 5 s.
- [30] EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2003/10/EY, annettu 6 päivänä helmikuuta 2003, terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysisistä tekijöistä (melu) aiheutuville riskeille (seitsemästoista direktiivin 89/391/ETY 16 artiklan 1 kohdassa tarkoitettu erityisdirektiivi). Bryssel, 2003.
- [31] Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta (85/2006). Helsinki, 2006.
- [32] Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta (48/2005). Helsinki, 2005.
- [33] EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2002/44/EY, annettu 25 päivänä kesäkuuta 2002, terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysisistä tekijöistä (tärinä) aiheutuville riskeille (kuudestoista direktiivin 89/391/ETY 16 artiklan 1 kohdassa tarkoitettu erityisdirektiivi). Luxemburg, 2002.
- [34] Haastattelu, MTT/Vakolan ojaamotesteistä vastaava insinööri Kari Maunula, 11.12.2012.
- [35] EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2004/108/EY, annettu 15 päivänä joulukuuta 2004, sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä ja direktiivin 89/336/ETY kumoamisesta. Strasbourg, 2004.
- [36] Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (27.12.2007/1466). Helsinki, 2007.
- [37] SFS-EN ISO 14982 AGRICULTURAL AND FORESTRY MACHINERY. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY. TEST METHODS AND ACCEPTANCE CRITERIA. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2009. 37 s.
- [38] ISO 5010:2007 Earth-moving machinery – Rubber-tyred machines – Steering requirements. International Organization for Standardization, 2007. 13 s.



- [39] NEUVOSTON DIREKTIIVI, annettu 20 päivänä toukokuuta 1975, pyörillä varustettujen maatalous- ja metsätraktoreiden ohjauslaitteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä (75/321/ETY). Bryssel, 1975.
- [40] E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505. Regulation No. 43 UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF SAFETY GLAZING MATERIALS AND THEIR INSTALLATION ON VEHICLES. Euroopan talouskomissio UNECE, 2004.
- [41] Haastattelu, Aikolon Oy:n myynti-insinööri Tuija Hahtonen, 23.8.2012.
- [42] Haastattelu, Logsetin aluemyyntijohtaja Pascal Rety, 13.7.2012.
- [43] WCB Standard: G604 Light-Duty Screen Guards For Off-Highway Equipment, March 1990. Worker's Compensation Board of British Columbia. Saatavissa: <http://www2.worksafebc.com/Publications/OHSRegulation/WCBStandards.asp?ReportID=30940>. Viitattu 9.8.2012.
- [44] Haastattelu, Logsetin laatu- ja dokumentaatiojohtaja Sami Hakala, 9.8.2012.
- [45] Application of G600 Series of Standards. Worker's Compensation Board of British Columbia. Saatavissa: <http://www2.worksafebc.com/Publications/OHSRegulation/WCBStandards.asp?ReportID=31012>. Viitattu 9.8.2012.
- [46] WCB Standard: G602 Log Loader and Log Yarder Raised Cabs, March 1990. Worker's Compensation Board of British Columbia. Saatavissa: <http://www2.worksafebc.com/Publications/OHSRegulation/WCBStandards.asp?ReportID=30938>. Viitattu 9.8.2012.
- [47] WCB Standard: G608 Mobile Equipment Roof Structures - Heavy Duty, March 1990. Worker's Compensation Board of British Columbia. Saatavissa: <http://www2.worksafebc.com/Publications/OHSRegulation/WCBStandards.asp?ReportID=30944>. Viitattu 9.8.2012.
- [48] WCB Standard: G603 Log Loader and Log Yarder Window Guards, March 1990. Worker's Compensation Board of British Columbia. Saatavissa: <http://www2.worksafebc.com/Publications/OHSRegulation/WCBStandards.asp?ReportID=30939>. Viitattu 9.8.2012.
- [49] Puhelinhaastattelu, MTT/Vakolan ojaamotesteistä vastaava insinööri Kari Maunula, 7.2.2013.
- [50] Koneviesti nro. 11/2012. Teemaliite Raskas Koneviesti. Helsinki, 2012.
- [51] KASI-PC Flex materiaaliominaisuudet. KRD Sicherheitstechnik GmbH. Revisio 06/04.
- [52] Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., et al. Koneenosien suunnittelu. Helsinki, 2003. 796 s. ISBN 951-0-20172-3.

- [53] Callister, W.D. Jr. Materials Science and Engineering: An Introduction. 7th Edition. Utah, 2006. 721 s. ISBN 978-0-471-73696-7.
- [54] Pilkington Optiphon -esite. Saatavissa: <http://www.pilkington.com/resources/pilkingtonoptiphonesite2.pdf>. Viitattu 23.8.2012.
- [55] Industrial Vehicle Technology, September 2011. Vol. 19 Nro 3. UKIP Media & Events Ltd, Dorking, Surrey, UK.
- [56] ISO 26322-1:2009 Tractors for agriculture and forestry – Safety – Part 1: Standard tractors (ISO 26322-1:2009). International Organization for Standardization, 2009. 13 s.
- [57] Haastattelu, Logsetin testikuljettaja Timo Aikala, 2.11.2012.
- [58] Brown, R. LINEAR-TRACKING WINDSHIELD WIPER SYSTEM FOR WIPING A RECTANGULAR FIELD. United States Patent US 6,966,095 B2, 2005.
- [59] Tfy-56.4323 Solar Energy Engineering. Luento 4. Aalto-yliopisto, Espoo, 2012.
- [60] Lampert, C.M. Chromogenic Switchable Glazing: Towards the Development of the Smart Window. Toronto, 1995. 19 s.
- [61] Lisi, D. Electrochromic glass. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI LECCE, 2002. 16 s. Saatavissa: <http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/tesine2003/ELECTROCHROMIC%20GLASS.pdf/>. Viitattu 18.7.2012.
- [62] Mediavision MagicFoil-Functionality. Saatavissa: <http://www.media-vision.de/en/media-glass-vision/magic-foil/funktionsweise.htm>. Viitattu 17.7.2012.
- [63] Tarjouspyyntö Mediavisionille, 18.7.2012.
- [64] Tarjouspyyntö Citiglassille, 17.7.2012.
- [65] Tenhunen, O. METALLI-LASIRAKENTEISEN KAKSOISJULKISIVUN MATERIAALIEN SOVELTAMISKRITEERIT. Espoo, 2003. 104 s. ISBN 951-22-6813-2.
- [66] Mediavision MagicFoil Technical specifications. Saatavissa: <http://www.media-vision.de/en/media-glass-vision/magic-foil/technischedaten.htm>. Viitattu 18.7.2012.
- [67] SAGE Switchable Technologies. Saatavissa: <http://sageglass.com/technology/switchable-technology/>. Viitattu 18.7.2012.
- [68] Puhelinkeskustelu, Pilkingtonin Ylöjärven tehdas, 19.7.2012.
- [69] Tarjouspyyntö Isoclima S.p.A.:lle, 25.7.2012.



- [70] Lamontagne, B., Py, C. Microblinds and a method of fabrication thereof. United States Patent US 7,684,105 B2. 2010.
- [71] Caprani, C. Structural Analysis III, Plastic Analysis 3rd Year Structural Engineering. Dublin Institute of Technology, 2010. Saatavissa: <http://www.colincaprani.com/files/notes/SAIII/Plastic%20Analysis%201011.pdf>. Viitattu 22.8.2012.
- [72] Satish Kumar, S.R., Santha Kumar, A.R. Design of steel structures II. Chapter 2. Indian Institute of Technology Madras, 2006. Saatavissa: [http://nptel.iitm.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Design\\_Steel\\_Structures\\_II/2\\_industrial\\_building/5\\_plastic\\_analysis.pdf](http://nptel.iitm.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Design_Steel_Structures_II/2_industrial_building/5_plastic_analysis.pdf). Viitattu 22.8.2012.
- [73] Thambiratnam, D.P., Clark, B.J., Perera, N.J. Performance of a Rollover Protective Structure for a Bulldozer. Journal of Engineering Mechanics, 2009. S. 31-40.
- [74] Sähköpostikeskustelu, profiilivalmistaja SadeF, 22.8.2012.
- [75] Rakenneteräkset - Ruukki. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kuumavalssatut-terakset/Rakenneterakset>. Viitattu 22.8.2012.
- [76] SFS-EN ISO 11688-1:1995 AKUSTIIKKA. SUOSITELTAVA KÄYTÄNTÖ VÄHÄMELUISTEN KONEIDEN JA LAITTEIDEN SUUNNITTELEMISEKSI. OSA 1: SUUNNITTELU. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2009. 76 s.
- [77] Kuttruff, H. Acoustics. An introduction. Stuttgart, 2007. 457 s.
- [78] Hentinen, M., Hynnä, P., Lahti, T., et al. VTT tiedotteita 2160. Värähtelyn ja melun vaimennuskeinot kulkuvälineissä ja liikkuvissa työkoneissa. Espoo, 2002. 118 + 164 s.
- [79] Haastattelu, Noisetek Oy:n edustajat Alihankintamessuilla Tampereella, 19.9.2012.
- [80] Gryllin, P., Hedborg, M. Active Noise Control of a Forest Machine Cabin. Examensarbete, Tekniska högskolan i Linköping, 2007. 53 s.
- [81] Forsgren, F. Active Noise Control in Forest Machines. Master's Thesis in Engineering Physics, Umeå University, 2011. 39 s.
- [82] Kaneuchi, K., Nishimura, K. Reduction of low-frequency resonance utilizing active noise control system in enclosed three-dimensional space. Acoustical Science and Technology Vol. 33 (2012) No. 2 P 106-108. Osaka, 2011.
- [83] SUN, D., CHEN, Z., ZHANG, G., Eberhard, P. Modeling and parameter identification of amplitude- and frequency-dependent rubber isolator. Central South University Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

- [84] Inman, D. Engineering Vibrations, Third Edition. Virginia, 2009. 669 s. ISBN 978-0-13-136311-3.
- [85] SFS 3552 KUMIT. YLEISIÄ TIETOJA OMINAISUUKSISTA. Suomen standardisoimisliitto SFS, 1980. 18 s.
- [86] Haastattelu, Logsetin tekninen johtaja Jukka Kivipelto, 7.8.2012.
- [87] 1000 timmar med Comfort Line. Rottne, 24.4.2012. Saatavissa: <http://www.rottnet.com/aktuellt/comfort-line-for-en-bekvamar-arbetsdag/>. Viitattu 27.7.2012.
- [88] Ergo - Harvesters - Products - Ponsse.com. Saatavissa: <http://www.ponsse.com/products/harvesters/ergo>. Viitattu 27.7.2012.
- [89] Resultat från Skogforsk nr. 8 2010. Saatavissa: [http://www.skogforsk.se/PageFiles/61678/Resultat-8-10\\_Lowres.pdf](http://www.skogforsk.se/PageFiles/61678/Resultat-8-10_Lowres.pdf). Viitattu 20.12.2012.
- [90] Haastattelu, Logsetin testikuljettaja Kari Kangas, 13.9.2012.
- [91] ITW Switches & Connectors. Saatavissa: <http://www.itwswitchcon.com/>. Viitattu 20.9.2012.
- [92] Nikkai Switches. Saatavissa: <http://www.nikkaiswitches.com/switchcategory.asp?S3=3>. Viitattu 20.9.2012.
- [93] Vaasan elektroniikkakeskus Oy. Saatavissa: [http://www.vekoy.com/index.php?cPath=63\\_201](http://www.vekoy.com/index.php?cPath=63_201). Viitattu 20.9.2012.
- [94] TACT Switch(TM) - Product Information - Alps Electric. Saatavissa: [http://www.alps.com/WebObjects/catalog.woa/E/HTML/Tact/Tact\\_list1.html](http://www.alps.com/WebObjects/catalog.woa/E/HTML/Tact/Tact_list1.html). Viitattu 20.9.2012.
- [95] Omron Sealed Microswitches. Saatavissa: <http://components.omron.eu/en/products/catalogue/switches/microswitches/sealed/default.html>. Viitattu 20.9.2012.
- [96] SERIES 1050 - ENCLOSED SNAP ACTION SWITCHES. Marquardt. Saatavissa: <http://datasheet.octopart.com/1050.0202-Marquardt-datasheet-8826300.pdf>. Viitattu 20.9.2012.
- [97] Ergocanada: Mechanical Keyswitches, Membrane Keyswitches, Scissor-Switch Membrane Keyswitches. Saatavissa: [http://www.ergocanada.com/ergo/keyboards/mechanical\\_vs\\_membrane\\_keyswitches.html](http://www.ergocanada.com/ergo/keyboards/mechanical_vs_membrane_keyswitches.html). Viitattu 20.9.2012.
- [98] Haastattelu, Mainostar Oy:n edustajat Alihankintamessuilla Tampereella, 19.9.2012.
- [99] Tönnis, M., Broy, V., Klinker, G. A Survey of Challenges Related to the Design of 3D User Interfaces for Car Drivers. Proceedings of the 2006 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI'06). 8 s.



- [100] Haastattelu, Logsetin ohjausjärjestelmäasiantuntija Jouni Kytövaara, 8.10.2012.

**Liite A**

## **Asiakaskysely**



# Logset Titan -harvestereiden asiakaskysely

Nimi: \_\_\_\_\_

Maa: \_\_\_\_\_

Kone: \_\_\_\_\_

Harvesteripää: \_\_\_\_\_

Ohjausjärjestelmä ja mittalaite: \_\_\_\_\_

*Huom! Kysymyksiin saa myös valita enemmän kuin yhden vastausvaihtoehdon*

## 1. Alustaratkaisu

Onko nykyinen alustaratkaisu (nosturi edessä, ohjaamo eturungossa, moottori takarungossa) toimiva?

- ☐ Paras olemassa oleva ratkaisu
- ☐ Toinen ratkaisu olisi parempi (mikä)

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 2. Rengastus

Onko nykyinen rengastus riittävä?

- ☐ 6 pyörää riittää hyvin
- ☐ 8 pyörää olisi tarpeen
- ☐ Suurempi rengastus olisi tarpeen

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 3. Dieselmoottori

Ovatko dieselmoottorin ominaisuudet hyvällä tasolla?

- ☐ Tehoa on riittävästi ja polttoainetalous on hyvä
- ☐ Tehoa on liian vähän
- ☐ Polttoaineenkulutus liian korkea

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 4. Nosturi

Onko nosturissa riittävästi voimaa ja toimivat liikeradat?

- ☐ Nosturi toimii moitteettomasti
- ☐ Voimaa saisi olla lisää
- ☐ Liikeradoissa on huomautettavaa

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 5. Hydrauliiikka

Onko nykyinen hydrauliiikka toimiva?

- ☐ Tehoa ja tuottoa on riittävästi
- ☐ Kaivataan suurempaa tehoa
- ☐ Kaivataan suurempaa tuottoa
- ☐ Kaivataan kaksipiirihydrauliiikkaa

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 6. Ohjaamoripustus

Kuinka tärkeänä pidätte seuraavia ominaisuuksia ohjaamoripustukselle?

- Sivuttaisvakautus
  - ☐ En haluaisi kyseistä ominaisuutta omaan koneeseen
  - ☐ Voisin harkita
  - ☐ Ehdottomasti pitäisi olla
- Kaikkiin suuntiin vakautus
  - ☐ En haluaisi kyseistä ominaisuutta omaan koneeseen
  - ☐ Voisin harkita
  - ☐ Ehdottomasti pitäisi olla
- Kaikkiin suuntiin vakautus + kääntyvä ohjaamo
  - ☐ En haluaisi kyseistä ominaisuutta omaan koneeseen
  - ☐ Voisin harkita
  - ☐ Ehdottomasti pitäisi olla
- Ohjaamojousitus
  - ☐ En haluaisi kyseistä ominaisuutta omaan koneeseen
  - ☐ Voisin harkita
  - ☐ Ehdottomasti pitäisi olla

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 7. Ohjaamon koko

Onko nykyinen harvesteriohjaamo sopivan kokoinen, vai pitäisikö sen olla isompi?

- ☐ Nykyinen on riittävän iso
- ☐ Saisi olla vähän tilavampi
- ☐ Saisi olla paljon suurempi

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_



### 8. Näkyvyys

Näkeekö ohjaamosta riittävän hyvin kaikkiin suuntiin, kun tehdään työtä?

- ☐ Täydellisesti näkee
- ☐ Ohjaamorakenteet häiritsevät näkyvyyttä osittain
- ☐ Ohjaamorakenteet häiritsevät työntekoa

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 9. Hallintalaitteet

Onko nykyinen ratkaisu (minivivut + paletit) hyvä, vai olisiko jokin toinen vaihtoehto parempi?

- ☐ Nykyinen ratkaisu erittäin toimiva
- ☐ Minivivut hyvät, mutta näppäimet hankalia käyttää
- ☐ Mieluummin ihan toisenlaiset hallintalaitteet kuin minivivut

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 10. Kyynärnojat

Ovatko kyynärnojat riittävän tukevat?

- ☐ Nykyiset kyynärnojat ovat riittävän tukevat
- ☐ Pystysuuntaan kaivataan lisää tukevuutta
- ☐ Sivusuuntaan kaivataan lisää tukevuutta

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 11. Lisähallintalaitteiden sijoitus

Onko oikea sivutolppa ja katto toimivat sijainnit lisähallintalaitteille ja radiolle?

- ☐ On toimiva ratkaisu
- ☐ Oikean sivupaneelin kytkimet saisivat mieluummin olla muussa paikassa
- ☐ Radio saisi mieluummin olla muussa paikassa

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 12. Melu

Onko ohjaamon äänieristys riittävä?

- ☐ Ohjaamo on sopivan hiljainen
- ☐ Ohjaamo on vähän meluista
- ☐ Ohjaamossa on häiritsevän kova melu

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

13. Ilmastointi

Onko ilmastoinnin jäähdytysteho riittävä?

- ☐ Kyllä, ei tarvitse hikoilla kuumana päivänäkään
- ☐ Ohjaamolämpötila ei ihan pysy hallinnassa, kun aurinko paistaa kirkkaimmillaan
- ☐ Aina joutuu hikoilemaan, kun ulkona on lämmintä

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

14. Lämmitys

Onko lämmitysteho riittävä?

- ☐ Ohjaamo lämpenee nopeasti ja pysyy lämpimänä
- ☐ Ohjaamo lämpenee hitaasti ja/tai ei aina riitä pitämään lämpötilaa sopivana, kun pakkanen on kovimmillaan
- ☐ Lämmitysteho on aivan liian pieni

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

15. Huurteenesto

Pysyvätkö ikkunarudut huurteettomina säällä kuin säällä?

- ☐ Pysyvät hyvin huurteettomina
- ☐ Eivät ihan kokonaan pysy huurteettomina
- ☐ Huurteiset ruudut häiritsevät työntekoa

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

16. UV-suojaus

Ovatko nykyiset aurinkoverhot toimivat?

- ☐ Koneessani ei ole aurinkoverhoja
- ☐ Aurinkoverhot ovat helppokäyttöiset ja suojaavat tehokkaasti auringonpaisteelta
- ☐ Aurinkoverhojen toimivuudessa on pieniä puutteita
- ☐ Aurinkoverhot eivät toimi lainkaan

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

17. Matkustajanistuin

Kuinka tärkeä ominaisuus matkustajan istuin on?

- ☐ Sellaista ei tarvita
- ☐ Hyvä, jos matkustaja mahtuu hetkeksi mukaan hyttiin
- ☐ Ehdottomasti pitää olla kunnollinen paikka, jossa apumies voi olla mukana pidempiäkin aikoja

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_



## 18. Portaat ja kahvat

Kuinka helppoa on päästä ohjaamoon sisään?

- ☐ Hyvin pääsee sekä sisään että ulos
- ☐ Portaat ovat vaikeakäyttöiset
- ☐ Käsille ei löydy kädensijoja

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 19. Säilytystilat

Onko ohjaamossa riittävästi säilytystiloja ja työtasoja?

- ☐ On riittävästi
- ☐ Säilytystiloja kaivattaisiin lisää
- ☐ Työtasoja kaivattaisiin lisää

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 20. Sisustusmateriaalit

Ovatko ohjaamon materiaalit siistin näköisiä ja pysyvätkö ne puhtaina?

- ☐ Olen tyytyväinen sisustusmateriaaleihin
- ☐ Sisustusmateriaalit eivät ole laadukkaan tuntuisia
- ☐ Sisustusmateriaalit vaikeita pitää puhtaina

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 21. Ohjaamovarustelu

Olisiko tärkeää saada lisää "kodikkaita" lisävarusteita ohjaamoon kuten esim. jääkaappi, ruoan lämmitin jne.?

- ☐ Sellaista ei tarvita työkoneessa
- ☐ Voisi olla mukavaa, mutta kyllä pärjää ilman
- ☐ Ehdottomasti pitäisi saada

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

## 22. Huollettavuus

Kuinka hyvin pääsee käsiksi huoltoa vaativiin kohteisiin koneessa?

- ☐ Hyvin pääsee käsiksi niihin kohtiin joita itse hoidan
- ☐ Joitakin vaikeuksia on ollut omassa huollossa
- ☐ Yleensä vaikeaa tehdä huoltotoimenpiteitä

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 23. Harvesteripää

Onko harvesteripää toimiva alustakoneen kanssa?

- ☐ On toimiva ja sopivan kokoinen
- ☐ Liian pieni
- ☐ Liian suuri
- ☐ Syöttönopeus liian hidas
- ☐ Syöttövoimaa liian vähän
- ☐ Karsintalaatu liian huono
- ☐ Mittatarkkuus liian huono
- ☐ Huono kesto
- ☐ Vaikea huoltaa

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 24. Ohjausjärjestelmä

Onko ohjausjärjestelmä riittävän helppokäyttöinen ja sisältääkö se riittävästi säätöominaisuuksia?

- ☐ On helppokäyttöinen ja sisältää riittävästi säätöominaisuuksia
- ☐ Vaikeakäyttöinen
- ☐ Joitakin säätöominaisuuksia puuttuvat

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 25. Mittalaite

Onko mittalaite toimiva?

- ☐ Selkeä käyttää ja toimiva
- ☐ Käyttö on monimutkaista
- ☐ Joitakin ominaisuuksia puuttuvat (mitkä?)

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_

### 26. PC

Ovatko tiedonsiirto ja paikannus toimivia?

- ☐ Koneessani ei ole langatonta tiedonsiirtoa
- ☐ Koneessani ei ole paikannusta
- ☐ Toimivat luotettavasti
- ☐ Tiedonsiirron kanssa on ollut joitakin ongelmia
- ☐ Paikannuksen kanssa on ollut joitakin ongelmia

Vapaat kommentit: \_\_\_\_\_



## **Liite B**

# **ROPS-laskelmat**

Plastic hinges -laskut, nelipilarinen ohjaamo

Etupilareiden myötölujuus  $R_{etu} := 275 \text{ MPa}$

Takapilareiden myötölujuus  $R_{taka} := 450 \text{ MPa}$

Teräksen kimmokerroin  $E := 210 \text{ GPa}$

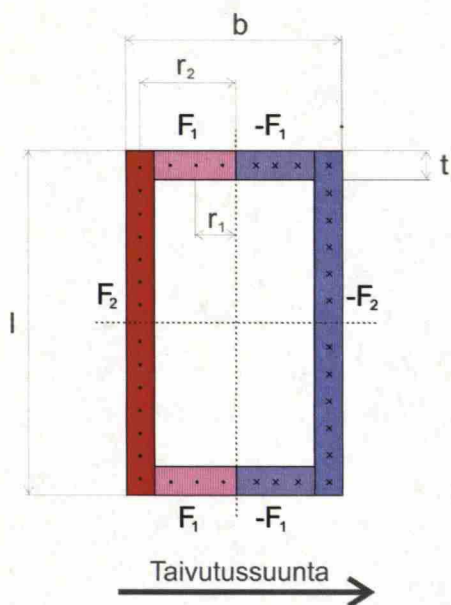
Koneen paino  $M := 30000$

Vaadittu sivuttaisvoima  $F_{rops\_sivu} := 60000 \cdot \left( \frac{M}{10000} \right)^{1,2} \text{ N}$

Vaadittu sivuttaisenergia  $U_{rops\_sivu} := 12500 \cdot \left( \frac{M}{10000} \right)^{1,25} \text{ J}$

Vaadittu pystyvoima  $F_{rops\_pysty} := 20 \cdot M \text{ N}$

Vaadittu pituusvoima  $F_{rops\_pituus} := 48000 \cdot \left( \frac{M}{10000} \right)^{1,2} \text{ N}$



Pilareiden korkeus

$$H := 1630 \text{ mm}$$

Etupilareiden leveys

$$b_{\text{etu}} := 65 \text{ mm}$$

Etupilareiden pituus

$$l_{\text{etu}} := 65 \text{ mm}$$

Etupilareiden seinämäpaksuus

$$t_{\text{etu}} := 4 \text{ mm}$$

Takapilareiden leveys

$$b_{\text{taka}} := 110 \text{ mm}$$

Takapilareiden pituus

$$l_{\text{taka}} := 290 \text{ mm}$$

Takapilareiden seinämäpaksuus

$$t_{\text{taka}} := 6 \text{ mm}$$

Etupilareiden jäyhyysmomentti sivusuunnassa

$$I_{\text{etu}} := \frac{l_{\text{etu}} \cdot b_{\text{etu}}^3}{12} - \frac{(l_{\text{etu}} - 2 \cdot t_{\text{etu}}) \cdot (b_{\text{etu}} - 2 \cdot t_{\text{etu}})^3}{12}$$

Takapilareiden jäyhyysmomentti sivusuunnassa

$$I_{\text{taka}} := \frac{l_{\text{taka}} \cdot b_{\text{taka}}^3}{12} - \frac{(l_{\text{taka}} - 2 \cdot t_{\text{taka}}) \cdot (b_{\text{taka}} - 2 \cdot t_{\text{taka}})^3}{12}$$



Plastiset momentit

Etupilareiden etu- ja takapuolessa vallitseva voima

$$F_{1etu} := R_{etu} \cdot \left( t_{etu} \cdot \left( \frac{b_{etu}}{2} - t_{etu} \right) \right)$$

Etupilareiden sivuissa vallitseva voima  $F_{2etu} := R_{etu} \cdot (l_{etu} \cdot t_{etu})$

Etupilarietuvoiman momenttivarsi  $r_{1etu} := \frac{\frac{b_{etu}}{2} - t_{etu}}{2}$

Etupilarisivuvoiman momenttivarsi  $r_{2etu} := \frac{b_{etu}}{2} - \frac{t_{etu}}{2}$

Etupilareiden plastinen momentti

$$M_{etu} := 2 \cdot (2 \cdot F_{1etu} \cdot r_{1etu} + F_{2etu} \cdot r_{2etu}) \quad M_{etu} = 6,1485 \text{ kN m}$$

Takapilareiden etu- ja takapuolessa vallitseva voima

$$F_{1taka} := R_{taka} \cdot \left( t_{taka} \cdot \left( \frac{b_{taka}}{2} - t_{taka} \right) \right)$$

Etupilareiden sivussa vallitseva voima  $F_{2taka} := R_{taka} \cdot (l_{taka} \cdot t_{taka})$

Etupilarietuvoiman momenttivarsi  $r_{1taka} := \frac{\frac{b_{taka}}{2} - t_{taka}}{2}$

Etupilarisivuvoiman momenttivarsi  $r_{2taka} := \frac{b_{taka}}{2} - \frac{t_{taka}}{2}$

Takapilareiden plastinen momentti

$$M_{taka} := 2 \cdot (2 \cdot F_{1taka} \cdot r_{1taka} + F_{2taka} \cdot r_{2taka}) \quad M_{taka} = 94,3974 \text{ kN m}$$

Koko plastinen momentti

$$M_{\text{plastinen}} := 4 \cdot M_{\text{etu}} + 4 \cdot M_{\text{taka}}$$

Sivuttaisvoima, jonka ohjaamo kestää

$$F_{\text{sivu}} := \frac{M_{\text{plastinen}}}{H}$$

$$F_{\text{sivu}} = 246,7383 \text{ kN}$$

Verrattuna vaadittuun:

$$F_{\text{rops\_sivu}} = 224,2316 \text{ kN}$$

Ohjaamon kallistuskulma

$$\varphi_{\text{rad}} := \frac{U_{\text{rops\_sivu}}}{M_{\text{plastinen}}}$$

$$\varphi_{\text{deg}} := \frac{180}{\pi} \cdot \varphi_{\text{rad}}$$

$$\varphi_{\text{deg}} = 7,0309$$

Pystykuormitus (oletetaan, että pilarit eivät nurjahda):

Pystykuorman aiheuttama momentti

$$M_{\text{pysty}} = F_{\text{rops\_pysty}} \cdot H \cdot \sin(\varphi_{\text{rad}})$$

$$M_{\text{pysty}} = 119,7115 \text{ kN m}$$

Verrattuna kokonaiseen plastiseen momenttiin

$$M_{\text{plastinen}} = 402,1834 \text{ kN m}$$



Pituuskuormitus:

Etupilareiden etu- ja takapuolessa vallitseva voima

$$F_{2etu\_pituus} := R_{etu} \cdot (b_{etu} \cdot t_{etu})$$

Etupilareiden sivuissa vallitseva voima

$$F_{1etu\_pituus} := R_{etu} \cdot \left( t_{etu} \cdot \left( \frac{l_{etu}}{2} - t_{etu} \right) \right)$$

Etupilarietuvoiman momenttivarsi

$$r_{1etu\_pituus} := \frac{\frac{l_{etu}}{2} - t_{etu}}{2}$$

Etupilarisivuvoiman momenttivarsi

$$r_{2etu\_pituus} := \frac{l_{etu}}{2} - \frac{t_{etu}}{2}$$

Etupilareiden plastinen momentti

$$M_{etu\_pituus} := 2 \cdot \left( 2 \cdot F_{1etu\_pituus} \cdot r_{1etu\_pituus} + F_{2etu\_pituus} \cdot r_{2etu\_pituus} \right)$$

$$M_{etu\_pituus} = 6,1485 \text{ kN m}$$

Takapilareiden etu- ja takapuolessa vallitseva voima

$$F_{2taka\_pituus} := R_{taka} \cdot (b_{taka} \cdot t_{taka})$$

Etupilareiden sivussa vallitseva voima

$$F_{1taka\_pituus} := R_{taka} \cdot \left( t_{taka} \cdot \left( \frac{l_{taka}}{2} - t_{taka} \right) \right)$$

Etupilarietuvoiman momenttivarsi

$$r_{1taka\_pituus} := \frac{\frac{l_{taka}}{2} - t_{taka}}{2}$$

Etupilarisivuvoiman momenttivarsi

$$r_{2taka\_pituus} := \frac{l_{taka}}{2} - \frac{t_{taka}}{2}$$

Takapilareiden plastinen momentti

$$M_{taka\_pituus} := 2 \cdot \left( 2 \cdot F_{1taka\_pituus} \cdot r_{1taka\_pituus} + F_{2taka\_pituus} \cdot r_{2taka\_pituus} \right)$$

$$M_{taka\_pituus} = 188,6814 \text{ kN m}$$

Koko plastinen momentti pituussuunnassa

$$M_{\text{plastinen\_pituus}} := 4 \cdot M_{\text{etu\_pituus}} + 4 \cdot M_{\text{taka\_pituus}}$$

Pituusvoima, jonka ohjaamo kestää

$$F_{\text{pituus}} := \frac{M_{\text{plastinen\_pituus}}}{H} \quad F_{\text{pituus}} = 478,1101 \text{ kN}$$

Verrattuna vaadittuun:

$$F_{\text{rops\_pituus}} = 179,3853 \text{ kN}$$